

**SIMULASI NUMERIS PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI  
DENGAN MENGGUNAKAN *CMS-FLOW*  
DI PANTAI NUSA DUA, BALI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI  
SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**IMA NURHAYATI  
NIM. 125060400111054**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**SIMULASI NUMERIS PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI**  
**DENGAN MENGGUNAKAN *CMS-FLOW***  
**DI PANTAI NUSA DUA, BALI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI**  
**SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
 memperoleh gelar Sarjana Teknik



**IMA NURHAYATI**  
**NIM. 125060400111054**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
 Pada tanggal 10 April 2018

Dosen Pembimbing I

Dr. Very Dermawan, ST., MT  
 NIP. 197302171999031001

Dosen Pembimbing II

Sebrian Mirdeklis B. P., ST., MT., M. Eng  
 NIK. 20140589092411001

Mengetahui  
 Ketua Jurusan/Ketua Program Studi



Dr. Ir. Usty Andawayanti, MS  
 NIP. 196101311986092001



*Sebuah karya kecil yang kupersembahkan*

*untuk*

*Kedua Orang Tuaku tercinta*

*Bapak Samsul Arifin dan Ibu Mistinah*

*Atas segala pengorbanan dan jerih payah yang*

*engkau berikan untukku agar dapat menggapai*

*cita-cita dan semangat serta do'a yang kau*

*lantunkan untukku sehingga aku dapat meraih*

*keberhasilan.*



Halaman ini sengaja dikosongkan



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA



## SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 66 /UN10.F07.14.11/TU/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

**IMA NURHAYATI**

Dengan Judul Skripsi :

SIMULASI NUMERIS PERUBAHAN MORFOLOGI PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN CMS-  
FLOW DI PANTAI NUSA DUA, BALI

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 26 JULI 2018



Ketua Jurusan Teknik Pengairan

Ketua Program Studi S1 Teknik Pengairan



**Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS**  
NIP. 19610131 198609 2 001

**Dr. Very Dermawan, ST., MT**  
NIP. 19730217 199903 1001

## PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, serta hidayah-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul ” **Simulasi Numeris Perubahan Morfologi Pantai Dengan Menggunakan *Cms-Flow* Di Pantai Nusa Dua, Bali**”.

Tidak lupa penyusun menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS., dan Bapak Dr. Ery Suhartanto, ST., MT selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak Dr. Very Dermawan, ST., MT dan Bapak Sebrian Mirdeklis Beselly Putra, ST., MT., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang dengan sabar telah memberikan bimbingan, dukungan, bantuan, ide, serta motivasi kepada penyusun.
3. Bapak Ir. Heri Suprijanto, MS. dan Bapak Prima Hadi Wicaksono, ST., MT. selaku dosen penguji.
4. Bapak Dr. Runi Asmaranto, ST., MT selaku KKDK Sistem Informasi Sumber Daya Air, serta Bapak Ir. Mohammad Taufiq, MS selaku dosen pembimbing akademik penyusun.
5. Bapak serta Ibu pegawai di PT. Parama Krida, Bali atas waktu, bantuan serta ilmunya dalam memperoleh data dan informasi yang penyusun butuhkan.
6. Ibu, bapak, mas serta seluruh keluarga besar penyusun atas kasih sayang, doa, semangat dan motivasi yang tak henti-hentinya kepada penyusun.
7. Resza Zulkarnaen Enanto yang tidak pernah lelah memberikan motivasi dan semangat kepada penyusun hingga terselesaikannya skripsi ini.
8. Nada Tsarwa Hanna, M. Abid Kurniawan, Kanza Shafia Kurniawan keponakanku tersayang yang selalu memberikan semangat baru dalam proses pengerjaan skripsi.
9. Teman-teman Pengairan'12, serta Keluarga Besar Mahasiswa Pengairan Universitas Brawijaya lainnya yang telah memberi semangat, doa, hadiah serta bantuannya kepada penyusun.
10. Meidiana, Dina, Lisa, Mega, Kikik, Tiara dan semua teman-teman yang tidak bisa penyusun sebutkan satu per satu terimakasih atas semua dukungannya.

11. Teman-teman pakar informatika dan statistika serta semua pihak yang telah membantu penyusun.

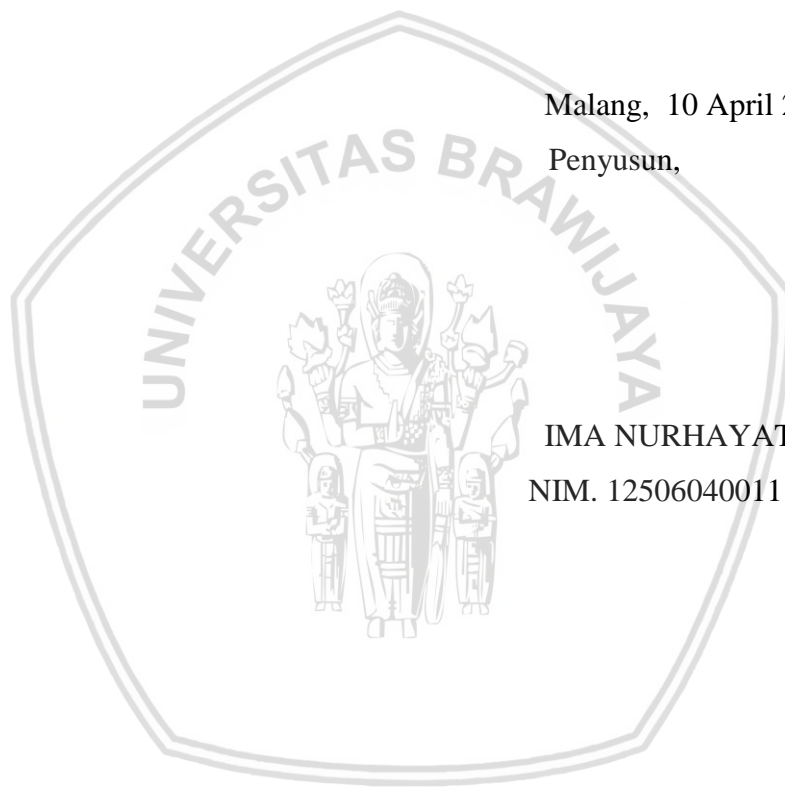
Penyusun menyadari bahwa Skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritikan yang membangun agar kedepannya bisa lebih baik lagi. Semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat dijadikan referensi sebagai alternatif penyelesaian masalah pada peramalan gelombang laut.

Malang, 10 April 2018

Penyusun,

IMA NURHAYATI

NIM. 125060400111054





## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 10 April 2018



Ima Nurhayati

125060400111054

## RINGKASAN

**Ima Nurhayati**, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret 2017, *Simulasi Numeris Perubahan Morfologi Pantai dengan Menggunakan CMS-FLOW di Pantai Nusa Dua, Bali*, Dosen Pembimbing : Very Dermawan dan Sebrian Mirdeklis Beselly Putra.

Pantai Nusa Dua merupakan salah satu kawasan wisata di Pulau Bali yang terus mengalami peristiwa erosi yang terus menggerus wilayah pesisir pantai, hingga pada tahun 2002-2004 melalui *Bali Beach Conservation Project* dilakukan pemasangan groin dan pengisian pasir untuk menangani permasalahan erosi tersebut. Akan tetapi kondisi pantai yang tidak seimbang disertai dengan fenomena alam yang terus berlangsung menyebabkan terjadinya abrasi pada sepanjang wilayah pantai dan bangunan-bangunan pelindung pantai mengalami kerusakan

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dengan menggunakan modul *CMS-FLOW* dalam *interface SMS (Surface water Modelling System) v.11.0* untuk simulasi perubahan garis pantai Nusa Dua pada masing-masing segmen groin. *CMS-Flow* digunakan untuk menghitung arus dan tingkatan air yang dikombinasikan dengan perhitungan angin, pasang surut dan pengaruh struktur pantai. Proses simulasi dilakukan pada lokasi pantai paling krusial dengan memperhatikan 3 kondisi, yaitu kondisi tanpa angin, kondisi dengan angin musim kemarau, dan kondisi dengan angin musim hujan. Jangka waktu simulasi selama 3 bulan penyiapan model sebagai berikut: *time step* 180 detik, *ramp duration* 24 jam, transpor sedimen *non equilibrium* dengan rumus Van Rijn, koefisien *bed slope* 0,1, dan *adaptation length* 10 m

Hasil dari simulasi dengan modul *CMS-Flow* diketahui bahwa pada Pantai Nusa Dua, Bali cenderung mengalami gerusan pada seluruh segmen terutama pada segmen UG.1 – G.12. Pengaruh transpor sedimen dominan diakibatkan oleh pasang surut. Hal ini dikarenakan tidak ada perubahan yang signifikan pada hasil simulasi tiap-tiap kondisi. Pada kondisi tanpa angin dan angin musim kemarau Arus maksimumnya adalah 1,26 m/s sedangkan arus residual maksimum adalah 0,0198 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0025m dan minimum -0,01m, sedangkan pada kondisi dengan angin musim hujan arus maksimumnya adalah 1,26m/s, kemudian pada kondisi arus residual maksimum sekitar 0,0196 m/s, dan untuk perubahan morfologi yang terjadi juga hampir sama hanya pada kondisi maksimum terjadi perbedaan sekitar 0.0002 m/s.

Kata Kunci : *SMS 11.0, CMS, CMS-Flow*, erosi, abrasi

Halaman ini sengaja dikosongkan



## SUMMARY

**Ima Nurhayati**, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, April 2018, Numerical Simulation of Morphological Change by Using CMS-FLOW at Nusa Dua Beach, Bali, Academic Supervisor : Very Dermawan dan Sebrian Mirdeklis Beselly Putra.

Nusa Dua Beach is one of the tourist areas on the island of Bali which continues to experience erosion events continue to erode coastal areas, until in 2002-2004 through Bali Beach Conservation Project conducted installation of groynes and sand filling to deal with erosion problems. However, unbalanced coastal conditions accompanied by ongoing natural phenomena cause abrasion along coastal areas and coastal protection structures to be damaged

In this research, modeling is done by using CMS-FLOW module in SMS interface (Surface water Modeling System) v.11.0 to simulate the change of coastline of Nusa Dua in each groyne segment. CMS-Flow is used to calculate currents and water levels combined with wind, tidal and coastal structure calculations. The simulation process is carried out at the most crucial panta location with respect to 3 conditions, ie windless conditions, conditions with dry season winds, and conditions with rainy season winds. The simulation period for 3 months is as follows: time step 180 seconds, 24 hour ramp duration, non-equilibrium sediment transport with Van Rijn formula, bed slope coefficient 0,1, and adaptation length 10 m

The result of simulation with CMS-Flow module is known that at Nusa Dua Beach, Bali tends to experience scouring in all segment especially in segment UG.1 - G.12. The effect of dominant sediment transport is caused by the tides. This is because there is no significant change in the simulation result of each condition. In non-wind and dry season conditions The maximum current is 1.26 m / s while the maximum residual current is 0.0198 m / s and the morphological changes vary from a maximum of 0.0025 m and a minimum of -0.01 m, whereas in conditions with seasonal winds the maximum current rainfall is 1.26m / s, then at the maximum residual current condition of about 0.0196 m / s, and for the morphological changes that occur also almost the same only in the maximum conditions occur a difference of about 0.0002 m / s.

**Keywords:** SMS 11.0, CMS, CMS-Flow, erosion, abrasion



Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xi
<b>RINGKASAN</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah .....	3
1.5 Tujuan .....	4
1.6 Manfaat .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Definisi Pantai .....	5
2.2 Gelombang.....	7
2.2.1 Teori Gelombang Linier .....	8
2.2.1.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil (Airy) .....	8
2.2.1.2 Teori Gelombang Amplitudo Hingga.....	13
2.2.1.3 Batasan Pemakaian Teori Gelombang.....	14
2.2.2 Pembangkitan Gelombang.....	15
2.3 Kecepatan Angin .....	15
2.3.1 Fetch.....	20
2.4 Statistik dan Peramalan Gelombang.....	21
2.4.1 Gelombang Representatif .....	22
2.4.2 Spektrum Gelombang .....	23
2.4.3 Penentuan Tinggi Gelombang dan Kala Ulang Rencana.....	25
2.4.4 Analisis Frekuensi Gelombang.....	26
2.5 Parameter Gelombang .....	29
2.6 Deformasi Gelombang.....	30
2.6.1 Difraksi Gelombang.....	31
2.6.2 Refraksi Gelombang .....	31
2.6.3 Gelombang Pecah .....	32
2.7 Proses Erosi dan Sedimentasi Pantai .....	35
2.7.1 Transpor Sedimen .....	35
2.7.1.1 Transpor Sedimen Menuju-Meninggalkan Pantai ( <i>Onshore-Offshore Transport</i> ) .....	36
2.7.1.2 Transpor Sedimen Sepanjang Pantai ( <i>Longshore Transport</i> ) .....	36
2.7.2 Sifat-Sifat Sedimen Pantai .....	37
2.7.3 Keseimbangan Sedimen Pantai.....	40
2.7.4 Model Perubahan Garis Pantai .....	41

2.8	Kriteria Kerusakan Pantai .....	41
2.8.1	Kriteria Kerusakan Pantai akibat Erosi atau Abrasi dan Kerusakan Bangunan .....	42
2.8.2	Tolok Ukur Kepentingan Pantai .....	44
2.8.3	Prosedur Pembobotan dan Penentuan Prioritas .....	44
2.9	Bangunan Pengaman Pantai .....	45
2.9.1	Groin .....	46
2.10	<i>Software SMS</i> .....	49
2.10.1	Gambaran Umum <i>SMS</i> .....	49
2.10.2	<i>CMS-FLOW</i> .....	50
2.10.3	Hidrodinamika .....	51
2.10.3.1	Kekasaran Dasar Perairan .....	52
2.10.3.2	Kekentalan Pusaran .....	53
2.10.3.3	Tekanan Radiasi Gelombang .....	53
2.10.3.4	Tekanan Permukaan Angin .....	53
2.10.3.5	Kondisi Batas .....	54
2.10.4	Proses Pengangkutan Sedimen dan Modelnya .....	54
2.10.5	Grid Hitung .....	55
<b>BAB III METODOLOGI STUDI</b> .....		57
3.1	Lokasi Daerah Studi .....	57
3.2	Data-Data yang Diperlukan .....	70
3.3	Langkah – Langkah Studi .....	71
<b>BAB IV PEMBAHASAN</b> .....		73
4.1	Pembangkitan Gelombang oleh Angin .....	73
4.1.1	Distribusi Arah Angin .....	73
4.1.2	Penggunaan Diagram Mawar Angin .....	76
4.1.3	Koreksi Kecepatan Angin .....	77
4.2	Penentuan Fetch Efektif .....	83
4.3	Peramalan Gelombang Menggunakan Metode JONSWAP .....	85
4.4	Analisis Gelombang Rencana .....	88
4.5	Analisis Data Pasang Surut .....	94
4.6	Analisis Kondisi Pantai .....	96
4.6.1	Analisis Monitoring Perubahan Volume Pasir .....	96
4.6.2	Analisis Statistika Perubahan Garis Pantai .....	97
4.6.3	Analisa Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya .....	101
4.7	Analisis Perubahan Morfologi .....	103
4.7.1	Pemodelan <i>CMS-FLOW</i> .....	104
4.7.1.1	Kalibrasi Model .....	109
4.7.1.2	Analisis Kondisi Arus .....	115
4.7.1.3	Domain Simulasi .....	118
4.7.1.4	Analisis Pola Perubahan Morfologi .....	119
4.7.2	Pemodelan <i>CMS-Wave</i> .....	126
4.7.3	Analisis Arus dan Gelombang pada Lokasi Studi .....	130
4.7.4	Evaluasi Struktur Groin .....	133
<b>BAB V PENUTUP</b> .....		135
5.1	Kesimpulan .....	135
5.2	Saran .....	137
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....		
<b>LAMPIRAN</b> .....		

## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Pedoman Pemilihan Jenis dan Kala Ulang Gelombang.....	25
Tabel 2.2	Fungsi Distribusi Probabilitas untuk Proses Hidrodinamika.....	26
Tabel 2.3	Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar .....	29
Tabel 2.4	Batas Interval Keyakinan Tinggi Gelombang Ekstrim.....	29
Tabel 2.5	Jenis Gelombang Pecah Berdasarkan <i>Surf Similarity Parameter</i> .....	35
Tabel 2.6	Klasifikasi Ukuran Batu dan Sedimen.....	39
Tabel 2.7	Skala Kepentingan berdasarkan Pemanfaatan Ruang.....	44
Tabel 3.1	Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali .....	60
Tabel 4.1	Frekuensi Kejadian Angin Rerata.....	74
Tabel 4.2	Frekuensi Kejadian Angin Rerata Musim Hujan.....	74
Tabel 4.3	Frekuensi Kejadian Angin Rerata Musim Kemarau.....	74
Tabel 4.4	Distribusi Persentase Kejadian Angin Rerata .....	75
Tabel 4.5	Distribusi Persentase Kejadian Angin Rerata Musim Hujan.....	75
Tabel 4.6	Distribusi Persentase Kejadian Angin Rerata Musim Kemarau .....	75
Tabel 4.7	Hasil Penentuan Koefisien $U/U_{10}$ .....	79
Tabel 4.8	Perhitungan Angin Terkoreksi.....	83
Tabel 4.9	Rekapitulasi Perhitungan <i>Fetch</i> Efektif.....	84
Tabel 4.10	Perhitungan Pembentukan Gelombang yang dibangkitkan oleh Angin Bulan Januari Tahun 2000 .....	86
Tabel 4.11	Data Tinggi Gelombang signifikan Tahunan.....	89
Tabel 4.12	Perhitungan gelombang dengan periode ulang metode Fisher-Tippet I menggunakan data maksimum tahunan .....	89
Tabel 4.13	Gelombang dengan periode tertentu metode Fisher-Tippet I.....	90
Tabel 4.14	Perhitungan gelombang dengan periode ulang metode Weibull menggunakan data maksimum tahunan .....	91
Tabel 4.15	Gelombang dengan periode tertentu metode Weibull .....	92
Tabel 4.16	Perhitungan nilai kesalahan absolut rerata.....	93
Tabel 4.17	Rekapitulasi perhitungan tinggi gelombang tiap arah mata angin dengan berbagai periode ulang dengan metode <i>Fisher Tippet I</i> .....	94
Tabel 4.18	Tabel amplitudo dan fasa konstituen hasil perhitungan <i>least square method</i> .....	95
Tabel 4.19	Monitoring Perubahan Volume Pasir GN. 2 – G. 12.....	97
Tabel 4.20	Analisa Perhitungan Statistika Pada Segmen Groin UG. 1 – GN. 2.....	100
Tabel 4.21	Analisa Kerusakan Pantai Nusa Dua .....	101
Tabel 4.22	Perbandingan Analisa Kondisi Krusial Pantai dengan Metode Statistika Volume Pasir dan Kerusakan Pantai.....	103
Tabel 4.23	Parameter Dasar <i>CMS-Flow</i> .....	107
Tabel 4.24	Perhitungan <i>Error</i> Validasi untuk Kecepatan Arus <i>CMS-Flow</i> .....	112
Tabel 4.25	Validasi Profil Pantai pada Segmen Groin UG.1-GN.2 .....	114
Tabel 4.26	Validasi Profil Pantai pada Segmen Groin GN.2-G.12 .....	114
Tabel 4.27	Parameter Spektrum JONSWAP dalam <i>Spectral Manager</i> .....	127
Tabel 4.28	Kondisi Profil Pantai pada Segmen Groin UG.1-GN.2 .....	131
Tabel 4.29	Kondisi Profil Pantai pada Segmen Groin GN.2-G.12.....	131

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Definisi dan Batasan Pantai .....	5
Gambar 2.2	Definisi dan Karakteristik Gelombang di Daerah Pantai.....	6
Gambar 2.3	Sket Definisi Gelombang .....	10
Gambar 2.4	Parameter Fungsi Kedalaman Relatif .....	11
Gambar 2.5	Dua Deretan Gelombang yang ditunjukkan secara terpisah dan Superposisi.....	12
Gambar 2.6	Daerah Penerapan Teori Gelombang Fungsi $H/d$ dan $d/L$ .....	14
Gambar 2.7	Model Spektrum Energi Gelombang Laut, .....	15
Gambar 2.8	Distribusi Vertikal Kecepatan Angin.....	16
Gambar 2.9	Kurva penentuan tinggi terhadap $U/U_{10}$ pada $\Delta T = +3^{\circ}\text{C}$ , $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ , $\Delta T = -3^{\circ}\text{C}$ .....	17
Gambar 2.10	Rasio kecepatan angin pada tiap durasi $U_t$ ke 1 jam kecepatan angin $U_{3600}$ .....	19
Gambar 2.11	Rasio $R_L$ dari kecepatan angin di atas laut $U_W$ terhadap kecepatan angin di atas darat $U_L$ sebagai fungsi kecepatan angin di atas darat $U_L$ (setelah Resio dan Vincent 1977) .....	19
Gambar 2.12	Penguatan ( <i>amplification</i> ) $R_T$ rasio dari $W_C$ (perhitungan kecepatan angin akibat efek perbedaan temperatur udara-laut) ke $W_W$ (kecepatan angin di atas laut tanpa efek temperatur) .....	20
Gambar 2.13	<i>Fetch</i> .....	21
Gambar 2.14	Diagram Alir Proses Peramalan Gelombang berdasarkan Data Angin ..	24
Gambar 2.15	Refraksi Gelombang Kontur Lurus dan Sejajar.....	32
Gambar 2.16	Tipe-Tipe Gelombang Pecah .....	34
Gambar 2.17	Transpor Sedimen Sepanjang Pantai .....	37
Gambar 2.18	Seri Groin dan Perubahan Garis Pantai yang ditimbulkan .....	46
Gambar 2.19	Groin Tunggal dan Perubahan Garis Pantai yang ditimbulkan .....	46
Gambar 2.20	Groin dari Tumpukan Batu .....	48
Gambar 2.21	Tampilan awal <i>Software</i> SMS 11.0 saat dibuka .....	50
Gambar 2.22	Kerangka <i>CMS-FLOW</i> dan Bagianannya.....	51
Gambar 2.23	Konvensi Vertikal yang digunakan untuk Elevasi Dasar-Perairan dan Elevasi Permukaan Air Rata-Rata .....	51
Gambar 2.24	Bagan Alir Formulasi Pengangkutan Sedimen .....	55
Gambar 2.25	Tipe Grid Cartes yang didukung oleh Interface <i>SMS</i> dan <i>CMS-Flow</i> ....	56
Gambar 2.26	Stensil Hitung dan Volume Kontrol dari Dua Tipe Grid Cartes: Grid Cartes Non-Seragam (Kiri) dan Grid Teleskop (Kanan) .....	56
Gambar 3.1	Peta Lokasi Pantai Nusa Dua, Bali .....	58
Gambar 3.2	Layout adaptasi penanganan pantai Nusa Dua, Bali.....	59
Gambar 3.3	Diagram Alir Pengerjaan Skripsi .....	72
Gambar 4.1	Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Tahun 2000 – 2009.....	76
Gambar 4.2	Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Musim Hujan (1999 – 2009) .....	77
Gambar 4.3	Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Musim Kemarau(1999 – 2009), .....	77
Gambar 4.4	Kurva penentuan nilai $U/U_{10}$ pada $\Delta T = 0^{\circ}\text{C}$ .....	79
Gambar 4.5	Rasio $R_L$ dari Kecepatan Angin pada 1 Januari 2000 .....	80



Gambar 4.6	Penentuan Nilai $R_T$ untuk $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ .....	81
Gambar 4.7	Penggambaran Garis <i>fetch</i> pada Lokasi Studi .....	84
Gambar 4.8	Penggambaran Garis <i>fetch</i> untuk Arah Tenggara .....	84
Gambar 4.9	Grafik perbandingan data pasang surut hasil pengamatan dengan hasil peramalan <i>least square method</i> pada waktu yang sama .....	94
Gambar 4.10	Grafik data pasang surut hasil peramalan <i>least square method</i> pada bulan Juli 2015 – September 2015 .....	95
Gambar 4.11	Grafik data pasang surut hasil peramalan <i>least square method</i> pada bulan Oktober 2015 – November 2016 .....	96
Gambar 4.12	<i>Visualisasi Scatter Point</i> untuk data kedalaman (bathimetri) .....	105
Gambar 4.13	<i>Visualisasi cartesian Grid</i> .....	106
Gambar 4.14	<i>Visualisasi Sebaran Sedimen D<sub>50</sub></i> .....	107
Gambar 4.15	<i>Visualisasi Wind Data pada Model Control</i> .....	108
Gambar 4.16	<i>CMS-FLOW Boundary Conditions</i> .....	108
Gambar 4.17	<i>Visualisasi Kedalaman</i> .....	109
Gambar 4.18	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> selama 1 Bulan untuk Analisis Arus Residual pada Bulan Februari-Bulan Maret 2015 .....	110
Gambar 4.19	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> selama 1 Bulan untuk Analisis Arus Maksimum pada Bulan Februari-Bulan Maret 2015 .....	111
Gambar 4.20	Zona Lokasi Pengamatan Arus Laut Pantai Nusa Dua, Bali .....	111
Gambar 4.21	Grafik Data Pasang Surut Hasil Peramalan <i>Least Square Method</i> pada bulan Februari 2015-Maret 2015 .....	112
Gambar 4.22	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Arus Maksimum dengan Arah Arus Residual pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	116
Gambar 4.23	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Arus Residual dengan Arah Arus Residual pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 bulan .....	116
Gambar 4.24	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Pola Arus Residual pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	117
Gambar 4.25	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	120
Gambar 4.26	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	120
Gambar 4.27	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	121
Gambar 4.28	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	121
Gambar 4.29	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	122
Gambar 4.30	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	122

Gambar 4.31	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	123
Gambar 4.32	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan.....	123
Gambar 4.33	Hasil <i>Running CMS-Flow</i> untuk Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan .....	124
Gambar 4.34	Detail Pola Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.12.....	125
Gambar 4.35	Pola Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 dan GN.2 – G.12.....	126
Gambar 4.36	Visualisasi <i>cartesian grid</i> untuk data kedalaman pada <i>CMS-Wave</i> .....	127
Gambar 4.37	Hasil <i>Running CMS-Wave</i> untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Utara pada Segmen Groin UG.1 – G.12.....	128
Gambar 4.38	Hasil <i>Running CMS-Wave</i> untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Timur Laut pada Segmen Groin UG.1 – G.12 .....	128
Gambar 4.39	Hasil <i>Running CMS-Wave</i> untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Timur pada Segmen Groin UG.1 – G.12 .....	129
Gambar 4.40	Hasil <i>Running CMS-Wave</i> untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Tenggara pada Segmen Groin UG.1 – G.12 .....	129
Gambar 4.41	Hasil Simulasi dalam Jangka Waktu Menengah dengan menggunakan <i>CMS-Flow</i> dan <i>CMS-Wave</i> pada Segmen Groin UG.1 - G.12 .....	131
Gambar 4.42	Alternatif 1 .....	134
Gambar 4.43	Alternatif 2 .....	134

Halaman ini sengaja dikosongkan





## DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	
Lampiran I	Perhitungan Kecepatan Angin Terkoreksi .....	139
Lampiran II	Tabel Perhitungan Fetch Efektif .....	199
Lampiran III	Perhitungan Pembentukan Gelombang oleh Angin dan Rekapitulasi Hasil Peramalan Gelombang dengan Metode JONSWAP .....	201
Lampiran IV	Perhitungan Analisis Gelombang Rencana Tiap Arah Mata Angin.....	263
Lampiran V	Data Pasang surut tahun 2003 .....	267
Lampiran VI	Data Hasil Monitoring Perubahan Volume Pasir .....	277
Lampiran VII	Analisa Perhitungan Statistika pada Tiap Segmen Groin .....	283
Lampiran VIII	Analisa Kerusakan Pantai Nusa Dua, Bali .....	289
Lampiran IX	Validasi Profil Pantai Nusa Dua, Bali Hasil Pemodelan dengan Hasil Monitoring pada bulan Juli 2015 .....	295





Halaman ini sengaja dikosongkan

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Dari hasil pengamatan Tim Nasional Pembakuan Nama Rupabumi, pada tahun 2010 Indonesia memiliki 13.466 pulau dengan lebih dari 3700 pulau merupakan pulau berpenduduk. Garis pantai Indonesia secara keseluruhan merupakan garis pantai terpanjang di dunia yakni mencapai 81.000 km yang merupakan 14% dari jumlah keseluruhan garis pantai yang ada di dunia. Dengan demikian wilayah pantai di Indonesia sangat intensif digunakan untuk kegiatan manusia. Sebagai dampak dari kegiatan tersebut maka timbul masalah-masalah baru seperti erosi pantai, pembelokan atau pendangkalan muara sungai, pencemaran lingkungan, penurunan tanah dan intrusi air asin akibat adanya peningkatan kebutuhan akan lahan, prasarana dan sebagainya. Dalam upaya penanganan masalah tersebut digunakan ilmu teknik pantai yang merupakan cabang dari ilmu teknik sipil yang memiliki aplikasi di daerah pantai untuk penanggulangan masalah erosi pantai dengan membuat bangunan-bangunan pantai.

Pulau Bali merupakan bagian dari kepulauan Sunda Kecil dengan panjang 153 km dan lebar 112 km berjarak 3,2 km dari pulau Jawa. Iklim tropis yang dimiliki pulau Bali merupakan akibat dari letak astronomisnya yaitu berada pada  $8^{\circ}25'23''$  Lintang Selatan dan  $115^{\circ}14'55''$  Bujur Timur. Luas wilayah provinsi Bali sebesar 5.636,66 km<sup>2</sup> dengan lahan datar sebesar (0-2%) seluas 96,129 ha, lahan bergelombang (2-15%) seluas 132,056 ha, lahan curam (15-40%) seluas 164,749 ha dan selebihnya merupakan lahan sangat curam (>40%) yang didominasi daerah pegunungan dan perbukitan (*Master Plan Penunjang Investasi Provinsi Bali*, 2010)

Keindahan pantai yang dimiliki pulau Bali seperti Nusa Dua, Kuta, Sanur, Candidasa menjadikan sektor pariwisata sebagai salah satu pilar ekonomi lokal. Menurut Dinas Pendapatan Daerah Provinsi Bali, pada tahun 2011 wilayah pantai Pulau Bali dalam sektor pariwisata menyumbang sebanyak 65,58% dari pendapatan asli daerah (PAD) senilai 977 miliar menyusul kemudian sektor pertanian memberikan andil sebesar 18,21%, pertambangan dan penggalian 5,05%, industri pengolahan 9,16%, serta listrik gas dan air bersih sebanyak

2%. Oleh sebab itu industri pariwisata Bali dapat digunakan sebagai indikator kesejahteraan masyarakat di pulau dewata ini, semakin tinggi pendapatan maka taraf hidup masyarakat juga semakin baik.

Pantai Nusa Dua merupakan salah satu kawasan wisata elit Bali berskala internasional. Hal ini dikarenakan pantai Nusa Dua sering digunakan sebagai tempat untuk konferensi internasional seperti Konferensi PBB tentang perubahan iklim 2008 dan KTT APEC pada 2013. Pantai Nusa Dua juga pernah memperoleh penghargaan sebagai kawasan pertama di Asia Pasifik yang mendapatkan *Green Globe* dari *Evaluator Evaluate Communicate Evolve* sebagai tempat wisata yang ramah lingkungan. Di sisi lain terdapat permasalahan yang sangat krusial yang dialami pantai Nusa Dua. Fenomena air laut yang terus menggerus wilayah pesisir pantai menyebabkan transpor sedimen yang berdampak pada pola perubahan garis pantai. Banyak dampak yang akan terjadi akibat perubahan garis pantai. Untuk daerah-daerah yang mengalami erosi, hal ini dapat menyebabkan berbagai kerusakan lingkungan dan infrastruktur pantai.

Diperlukan studi yang lebih mendalam dalam penyelesaian masalah-masalah teknik pantai tersebut. Seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, peristiwa perubahan garis pantai dapat disimulasikan dengan berbagai cara. Dari mulai cara yang paling sederhana hingga cara yang lebih kompleks. Metode yang sering digunakan adalah dengan menggunakan model analitis. Model analitis memiliki berbagai jenis seperti *SMS*, *MIKE*, *Delft-3D* dan lain sebagainya. Dalam hal ini digunakan modul *CMS-FLOW* dalam *interface SMS (Surface water Modelling System) v.11.0* untuk simulasi perubahan garis pantai Nusa Dua pada masing-masing segmen groin. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati adanya perubahan pola garis pantai Nusa Dua pada masa yang akan datang. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran secara khusus wilayah-wilayah pantai Nusa Dua yang diprediksi akan terjadi erosi sehingga dapat menjadi informasi untuk dilakukan penanganan lanjutan di masa mendatang.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Pantai Nusa Dua merupakan salah satu kawasan wisata yang terletak di Selatan Pulau Bali, berjarak sekitar 15 km dari Lapangan Terbang Internasional Ngurah Rai dan 40 km dari Denpasar. Pantai seluas 350 hektar ini mengalami peristiwa erosi yang terus menggerus wilayah pesisir pantai, hingga pada tahun 2002-2004 melalui *Bali Beach Conservation Project* dilakukan pemasangan groin dan pengisian pasir untuk menangani permasalahan erosi tersebut.

Berdasarkan pengamatan lokasi dan hasil monitoring yang dilakukan dinas dan instansi terkait mengenai garis pantai Nusa Dua terjadi perubahan yang sangat signifikan setiap tahunnya. Angkutan sedimen yang terjadi di Pantai Nusa Dua Bali mencapai 10.180 m<sup>3</sup> per-tahun. Garis pantai Nusa Dua mengalami kemajuan mencapai 41,20 meter dan kemunduran mencapai 22.02 meter pada tahun 2012. Di tahun 2016 beton penahan abrasi tergerus oleh ombak hingga menjadi puing, menyebabkan bibir pantai mengalami abrasi sepanjang 200 meter dan sejumlah pohon di bibir pantai hampir tumbang. Kondisi pantai yang tidak seimbang ini disertai dengan fenomena alam yang terus berlangsung dan pemanfaatan wilayah pantai yang kurang memperhatikan keamanan menyebabkan terjadinya abrasi pada sepanjang wilayah pantai. Bangunan-bangunan pelindung pantai mengalami kerusakan, sehingga mengakibatkan lahan pantai semakin menyempit dan berdampak pada kehidupan masyarakat di sekitar wilayah pantai Nusa Dua.

### 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dipaparkan maka dapat dilakukan pembatasan masalah studi sehingga pembahasan yang dilakukan dapat lebih terarah dan sesuai dengan tujuan studi. Dalam studi ini batasan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Lokasi studi pada pantai Nusa Dua Bali.
2. Analisis pembangkitan gelombang menggunakan data arah dan kecepatan angin rerata selama 10 tahun pada tahun 2000 – 2009.
3. Data penunjang lainnya adalah data bathimetri tahun 2015, data pasang surut tahun 2003, dan data sedimen pantai D<sub>50</sub>.
4. Menganalisis deformasi gelombang dan pergerakan sedimen dengan menggunakan modul *CMS-FLOW* dalam *interface SMS v.11.0*.
5. Pembahasan akan dilakukan pada :
  - a. Pola perubahan garis pantai Nusa Dua, Bali
  - b. Analisis Kondisi pantai Nusa Dua, Bali
  - c. Membandingkan hasil analisis pemodelan *CMS-FLOW* dalam *interface SMS v.11.0* dengan kondisi eksisting pantai Nusa Dua, Bali

### 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah dapat disimpulkan rumusan masalah yang akan dibahas dalam studi ini, adalah:

1. Bagaimana kondisi perubahan morfologi pantai Nusa Dua, Bali?
2. Bagaimana pola perubahan morfologi pantai Nusa Dua, Bali selama 3 bulan?

3. Bagaimana analisis pengaruh transport sedimen dominan yang terjadi di pantai Nusa Dua, Bali?
4. Bagaimana hasil parameter pemodelan numerik menggunakan modul *CMS-FLOW* dalam *interface SMS v.11.0*?

### **1.5 Tujuan**

1. Mengetahui kondisi perubahan morfologi pantai Nusa Dua, Bali.
2. Mengetahui pola perubahan morfologi pantai Nusa Dua, Bali selama 3 bulan.
3. Mengetahui pengaruh transport sedimen dominan yang terjadi di pantai Nusa Dua, Bali.
4. Mengetahui hasil parameter pemodelan numerik menggunakan modul *CMS-FLOW* dalam *interface SMS v.11.0*.

### **1.6 Manfaat**

Manfaat dari studi ini adalah untuk mengetahui letak wilayah-wilayah pantai Nusa Dua yang diprediksi akan terjadi erosi di masa yang akan datang, sehingga dapat digunakan sebagai salah satu sumber informasi bagi instansi terkait agar dapat dilakukan penanganan lanjutan.

Hasil pemodelan dapat menjadi masukan bagi para perencana bangunan pantai bahwa modul *CMS FLOW* dalam *interface SMS v.11.0* layak untuk diaplikasikan dalam perencanaan bangunan pantai karena hasil yang diperoleh lebih cepat dan akurat.

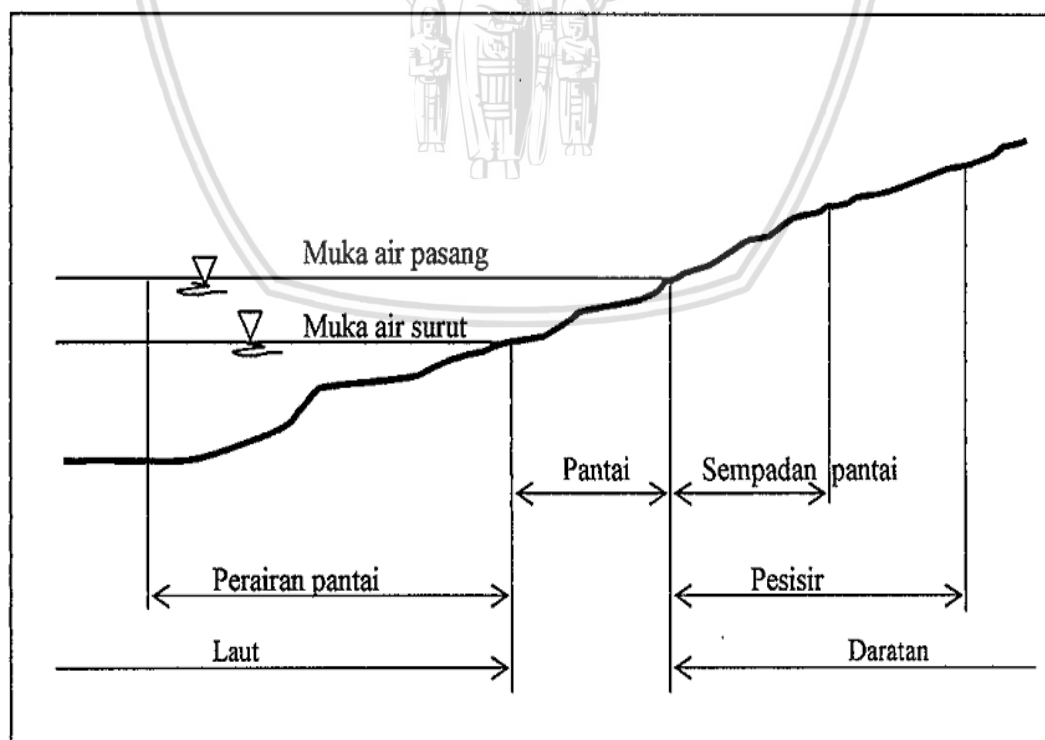
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Definisi Pantai

Pantai (*beach*) merupakan wilayah yang menjadi batas pertemuan antara darat dan laut yang dipengaruhi oleh air laut dan terdapat batasan antara bidang darat dan bidang air seperti lautan, laut dan danau yang disebut garis pantai (*shoreline*). Garis pantai memiliki posisi yang tidak tetap sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Kawasan pantai (*coastal zone*) merupakan area dari daratan dan perairan yang dibatasi dengan garis pantai dan sebagian panjang kawasan darat dan laut yang mencakup suatu area dimana proses-proses penting pada daerah pantai terjadi secara aktif (Sorensen, 2006,p.1).

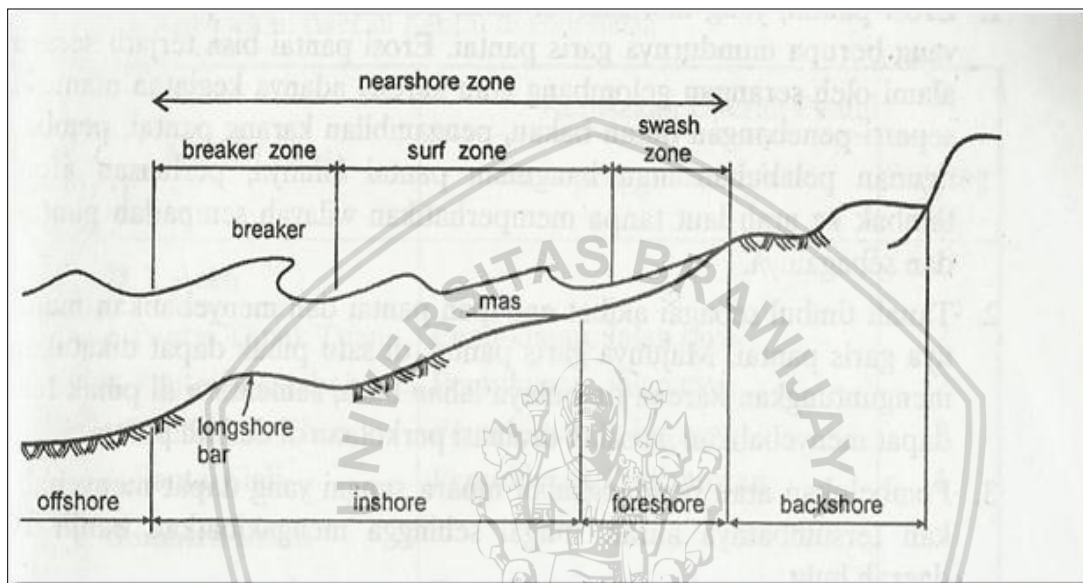
Pantai dan pesisir merupakan suatu kesatuan yang tidak terpisahkan. Sehingga sering menimbulkan kerancuan pada pengertian pantai dan pesisir. Dalam Triatmodjo 2008,p.2 pantai dan pesisir didefinisikan pada gambar berikut.



Gambar 2.1 Definisi dan Batasan Pantai  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.2)



Istilah pesisir (*coast*) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut sedangkan pantai (*shore*) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya.



Gambar 2.2 Definisi dan Karakteristik Gelombang di Daerah Pantai  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.3)

Dapat diketahui dari Gambar 2.2 di atas selain definisi pantai perlu juga diketahui beberapa definisi dan karakteristik gelombang disekitar pantai. Perubahan kedalaman laut berpengaruh pada perubahan bentuk pada gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai. Semakin berkurangnya kedalaman laut maka panjang gelombang akan semakin berkurang dan tinggi gelombang akan semakin meningkat. Gelombang akan pecah ketika kemiringannya (perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang) telah mencapai batas maksimum.

Karakteristik gelombang setelah pecah berbeda dengan sebelum pecah. Gelombang yang telah pecah tersebut merambat terus ke arah pantai sampai akhirnya gelombang naik turun pada permukaan pantai (*uprush* dan *downrush*). Daerah dari garis gelombang pecah ke arah laut disebut dengan *offshore*, sedang daerah yang terbentang ke arah pantai dari arus gelombang pecah dibedakan menjadi tiga daerah yaitu *breaker zone*, *surf zone*, dan *swash zone*. Daerah gelombang pecah (*breaker zone*) adalah daerah dimana gelombang



yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidakstabilan dan pecah. Di pantai yang landai, gelombang pecah bisa terjadi dua kali. *Surf zone* adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik-turunnya gelombang di pantai. Pantai yang landai mempunyai *surf zone* yang lebar. *Swash zone* adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai (Triatmodjo, 2008,p.2).

Daerah ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *inshore*, *foreshore*, dan *backshore*. Perbatasan antara *inshore* dan *foreshore* adalah batas antara air laut pada saat muka air rendah dan permukaan pantai. *Foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas dari uprush pada saat air pasang tinggi. Profil pantai di daerah ini mempunyai kemiringan yang lebih curam daripada profil di daerah *inshore* dan *backshore*. *Backshore* adalah daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan garis pantai yang terbentuk saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tinggi.

Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian rupa sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang. Pada saat badai, terjadi gelombang yang mempunyai energi besar. Sering pertahanan alami pantai tidak mampu menahan serangan gelombang, sehingga pantai dapat tererosi. Setelah gelombang besar reda, pantai akan kembali ke bentuk semula oleh pengaruh gelombang normal. Tetapi ada kalanya pantai yang tererosi tersebut tidak kembali ke bentuk semula karena material pembentuk pantai terbawa arus ke tempat lain dan tidak kembali ke lokasi semula. Dengan demikian pantai tersebut mengalami erosi.

## 2.2 Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat. Bentuk ideal dari suatu gelombang akan mengikuti gerak sinusoide. Selain radiasi elektromagnetik, dan mungkin radiasi gravitasional, yang bisa berjalan lewat vakum, gelombang juga terdapat pada medium (yang karena perubahan bentuk dapat menghasilkan gaya memulihkan yang lentur) di mana mereka dapat berjalan dan dapat memindahkan energi dari satu tempat ketempat lain tanpa mengakibatkan partikel medium berpindah secara permanen, yaitu tidak ada perpindahan secara masal. Gelombang terjadi apabila terdapat dua massa benda dengan kerapatan (densitas) yang berbeda saling bergesekan satu sama lain sehingga pada bidang gerak akan terbentuk gelombang.

Gelombang laut terbentuk akibat adanya gerak ayun (*oscillatory movement*) oleh tiupan angin, erupsi gunung api, pelongsoran dasar laut, atau lalu lintas kapal yang membentuk permukaan laut berupa punggung atau puncak gelombang dan palung atau lembah gelombang. Berdasar pada kondisi di atas fenomena gelombang laut dapat dijelaskan dengan pendekatan *reguler waves* dan *irregular waves*. Pada *regular waves* pendekatan dilakukan dengan memahami mekanika gelombang laut yang memiliki periode dan tinggi gelombang konstan. Pada *irregular waves* digunakan metode statistik untuk menganalisis gelombang dimana suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode berbeda.

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami yang terjadi karena adanya letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya. Diantara beberapa macam bentuk gelombang tersebut yang paling penting adalah gelombang angin (untuk selanjutnya ditulis gelombang) dan pasang surut. Gelombang merupakan faktor utama dalam penentuan tata letak (*layout*) pelabuhan, alur pelayaran, perencanaan bangunan pantai, dan sebagainya.

Pada umumnya bentuk gelombang di alam adalah sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang random. Terdapat beberapa teori dengan berbagai derajat kekompleksan dan ketelitian untuk menggambarkan gelombang di alam seperti: teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal, dan Tunggal. Teori paling sederhana adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil yang pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845 (Triatmodjo, 2008,p.12).

## 2.2.1 Teori Gelombang

### 2.2.1.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil (Airy)

Teori gelombang amplitudo kecil diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di permukaan air dan dasar laut. Kondisi batas di permukaan air laut didapat dengan melinierkan persamaan Bernoulli untuk aliran tak mantap. Penyelesaian persamaan tersebut memberikan potensial kecepatan periodik untuk aliran tak rasional. Anggapan-anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2008,p.12):

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, maka rapat massa adalah konstan.

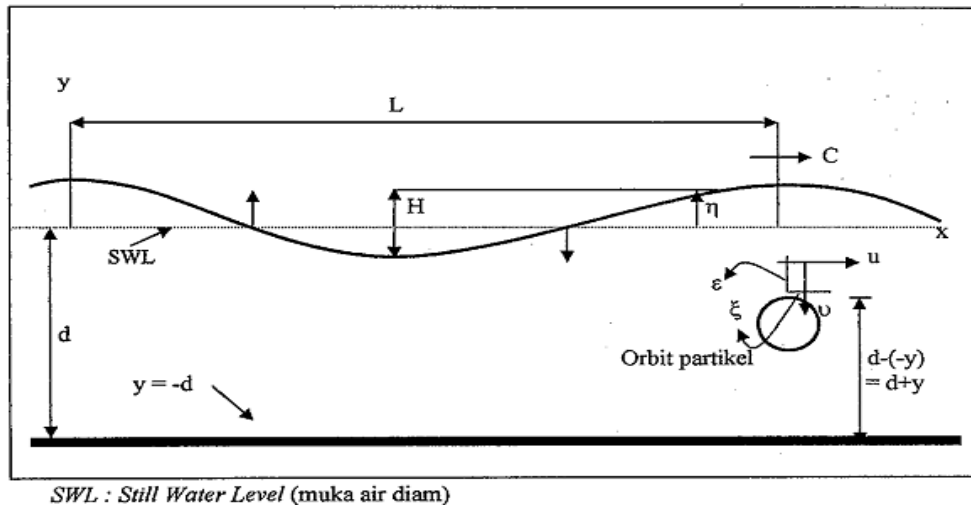
2. Tegangan pada permukaan diabaikan.
3. Gaya Coriolis (akibat dari perputaran bumi) diabaikan.
4. Tekanan permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar laut adalah horizontal, tetap dan impermeabel sehingga kecepatan vertikal di dasar laut adalah nol.
7. Amplitudo adalah gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder dan tegak lurus terhadap arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Persyaratan yang diperlukan dalam teori gelombang airy (Yuwono, 1982,p.3) adalah:

1. Air dianggap suatu zat yang homogen, *incompressible*, tegangan muka (*surface tension*) diabaikan (panjang gelombang > 3 m)
2. Gerakan partikel zat cair (air) adalah irrotational. Tidak ada tegangan geser pada batas air-udara atau pada dasar laut. Pengaruh angin terhadap gelombang tidak diperhatikan. Dengan demikian potensial kecepatan (*Velocity Potential*)  $\phi$  memenuhi persamaan Laplace (persamaan kontinuitas untuk *irrotational flow*) .

$$\frac{\delta^2 \phi}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 \phi}{\delta y^2} = 0 \quad (2-1)$$

3. Dasar laut adalah diam (tak bergerak), *impermeable* dan horizontal.
4. Tekanan udara di permukaan air adalah konstan. Tekanan angin tidak diperhitungkan dan perbedaan tekanan hidrostatik karena perbedaan elevasi diabaikan.
5. Amplitudo gelombang adalah kecil dibandingkan panjang gelombang dan kedalamannya. Kecepatan partikel air sangat erat hubungannya dengan amplitudo gelombang sedangkan kecepatan jalar gelombang (*wave celerity*) tergantung ada kedalaman air dan panjang gelombang. Dari hal ini dapat ditarik kesimpulan bahwa kecepatan partikel air relatif lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan jalar gelombang.



Gambar 2.3 Sket Definisi Gelombang  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.14)

Gambar 2.3 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat (x,y), menjalar ke sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah:

- d = jarak antara muka air rata-rata dan dasar laut (kedalaman laut).
- $\eta_{(x,y)}$  = fluktuasi muka air terhadap muka air rata-rata.
- a = amplitudo gelombang.
- H = tinggi gelombang = 2a.
- L = panjang gelombang (m), yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan
- T = periode gelombang (dt), yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
- C = cepat rambat gelombang =  $L/T$  ( $m \cdot dt^{-1}$ ).
- K = angka gelombang =  $2\pi/L$ .
- $\sigma$  = frekwensi gelombang =  $2\pi/T$ .

Dengan asumsi-asumsi tersebut maka dapat diturunkan persamaan gelombang sebagai berikut (Yuwono, 1986,p.5):

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{L}\right) \quad (2-2)$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{L}\right) \quad (2-3)$$

dengan:

L = panjang gelombang (m)

C = kecepatan rambat gelombang ( $m \cdot dt^{-1}$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m} \cdot \text{dt}^{-2}$ )

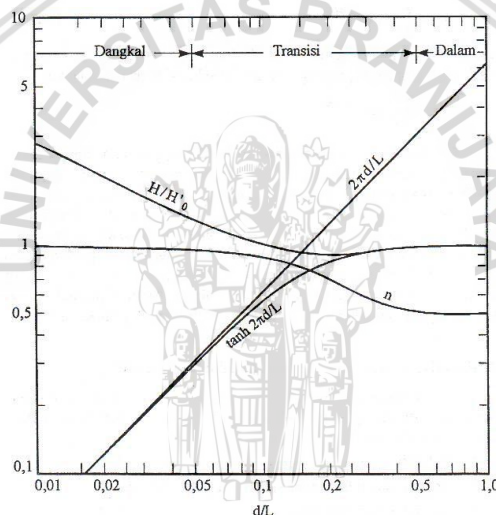
$T$  = periode gelombang (dt)

$d$  = jarak antara muka air rata-rata dan dasar laut (m)

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air ( $d$ ) dan panjang gelombang ( $L$ ), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam yaitu (Triatmodjo, 2008,p.17):

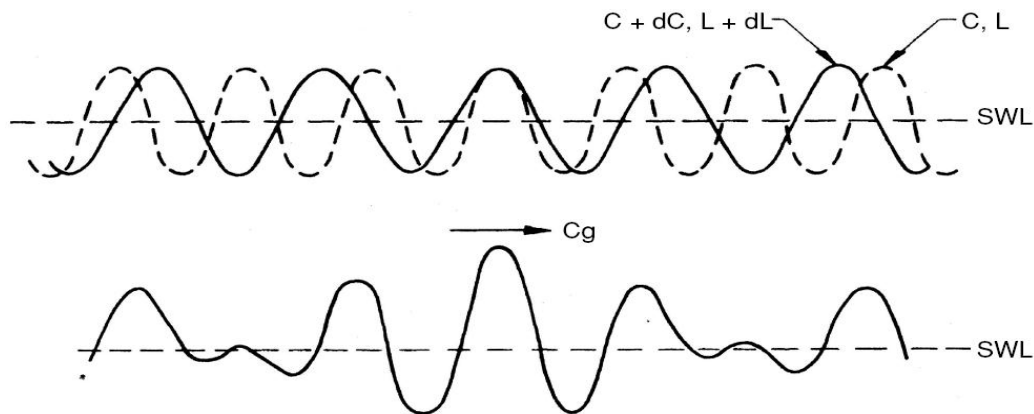
1. Gelombang di laut dangkal, apabila  $d/L \leq 1/20$
2. Gelombang di laut transisi, apabila  $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang di laut dalam, apabila  $d/L \geq 1/2$

Klasifikasi ini dilakukan untuk menyederhanakan rumus-rumus gelombang. Penyederhanaan ini dapat dijelaskan dengan menggunakan Gambar 2.4 yang menunjukkan berbagai parameter sebagai fungsi dari kedalaman relatif.



Gambar 2.4 Parameter Fungsi Kedalaman Relatif  
Sumber: Triatmojo (2000,p.18)

Apabila terdapat dua deret gelombang monokromatik (yaitu suatu deret gelombang dengan satu macam tinggi, panjang dan cepat rambat gelombang) menjalar dalam arah dan tinggi gelombang yang sama tetapi panjang dan cepat rambat gelombang berbeda, maka kedua gelombang tersebut akan bersuperposisi. Gambar 2.5 menunjukkan kedua gelombang tersebut secara terpisah dan superposisinya (Triatmodjo, 2008,p.33).



Gambar 2.5 Dua Deretan Gelombang yang Ditunjukkan Secara Terpisah dan Superposisi

Sumber: Sorensen (2006,p.29)

$$C_g = n \cdot C \quad (2-4)$$

$$n = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \quad (2-5)$$

$$k = \frac{2\pi}{L} \quad (2-6)$$

dengan :

$C_g$  = kecepatan rambat kelompok gelombang ( $m \cdot dt^{-1}$ )

$C$  = kecepatan rambat gelombang ( $m \cdot dt^{-1}$ )

$n$  = untuk laut dalam  $n = 0,5$  dan untuk laut dangkal  $n = 1$

$k$  = angka gelombang

$d$  = jarak muka air rata-rata dari dasar laut (m)

$L$  = panjang gelombang (m)

Energi total gelombang adalah jumlah dari energi kinetik dan energi potensial gelombang. Energi kinetik adalah energi yang disebabkan oleh kecepatan partikel air karena adanya gerak gelombang, sedangkan energi potensial merupakan energi yang dihasilkan oleh perpindahan muka air karena adanya gelombang (Triatmojo, 2008,p.38).

Dalam teori gelombang Airy, komponen energi potensial dan kinetik adalah sama jika energi potensial yang ditetapkan relatif terhadap muka air diam, dan semua gelombang menjalar dalam arah yang sama.

$$E = E_k + E_p = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2-7)$$



dengan :

$E$  = energi total tiap satuan lebar ( $\text{Nm.m}^{-1}$ )

$E_k$  = energi kinetik total tiap satuan lebar ( $\text{Nm.m}^{-1}$ )

$E_p$  = energi kinetik total tiap satuan lebar ( $\text{Nm.m}^{-1}$ )

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m.dt}^{-2}$ )

$H$  = tinggi gelombang (m)

$L$  = panjang gelombang (m)

Energi gelombang berubah dari satu titik ke titik yang lain sepanjang satu panjang gelombang, dan energi rerata satu satuan luas adalah:

$$\bar{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{L} \quad (2-8)$$

dengan :

$\bar{E}$  = energi rerata satu satuan luas ( $\text{Nm.m}^{-2}$ ).

Tenaga gelombang adalah energi gelombang tiap satu satuan waktu yang menjalar dalam arah penjalaran gelombang. Maka pemindahan energi persatuan panjang dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 2008,p.39) :

$$P = \frac{nE}{T} = \frac{n\bar{E}L}{T} = n\bar{E}C \quad (2-9)$$

dengan :

$P$  = pemindahan energi per satuan panjang ( $\text{Nm.dt}^{-1}.\text{m}$ )

$n$  = untuk laut dalam  $n = 0,5$  dan untuk laut dangkal  $n = 1$

$C$  = kecepatan rambat gelombang (m/detik)

### 2.2.1.2 Teori Gelombang Amplitudo Hingga

Di dalam teori gelombang amplitudo kecil (Airy) dianggap bahwa tinggi gelombang adalah sangat kecil terhadap panjangnya atau kedalamannya. Persamaan gelombang diturunkan dengan mengabaikan suku ( $u^2 + v^2$ ) dari persamaan Bernoulli. Apabila tinggi gelombang relatif besar suku tidak linier tersebut tidak boleh diabaikan. Dalam keadaan ini digunakan teori amplitudo berhingga yang memperhitungkan besaran dengan orde yang lebih tinggi, berikut diberikan beberapa teori yang ada (Triatmodjo, 2008,p.43):

#### 1. Teori Gelombang Stokes

Stokes mengembangkan teori orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tetapi berhingga.

## 2. Teori Gelombang Knoidal

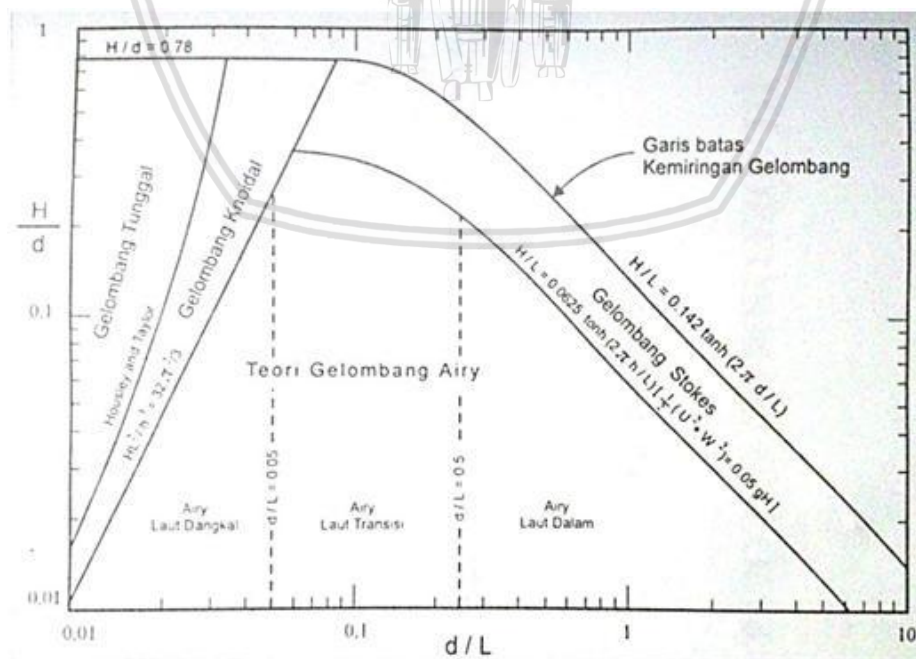
Teori gelombang Knoidal lebih sesuai digunakan untuk gelombang panjang dengan amplitudo berhingga di laut dangkal. Gelombang Knoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang.

## 3. Teori Gelombang Tunggal (*solitary wave*)

Gelombang tunggal adalah gelombang berjalan yang terdiri dari satu puncak gelombang. Apabila gelombang memasuki perairan yang sangat dangkal, amplitudo gelombang menjadi semakin tinggi, puncaknya menjadi semakin tajam dan lembahnya menjadi semakin datar. Gelombang tunggal merupakan gelombang translasi, dimana kecepatan partikel air hanya bergerak dalam arah penjalaran gelombang.

### 2.2.1.3 Batasan Pemakaian Teori Gelombang

Dari berbagai ulasan teori gelombang yang telah dijelaskan sebelumnya, penentuan penggunaan teori yang paling sesuai disesuaikan pada kondisi yang ada di lokasi studi. Penerapan teori gelombang didasarkan pada nilai perbandingan antara tinggi gelombang ( $H$ ) dengan kedalamannya (jarak muka air rerata dengan dasar laut) yaitu  $H/d$ , serta perbandingan kedalaman ( $d$ ) dengan panjang gelombang ( $L$ ) yaitu  $d/L$ . Penerapan penggunaan teori gelombang berdasarkan fungsi  $H/d$  dan  $d/L$  dapat dilihat pada Gambar 2.6.



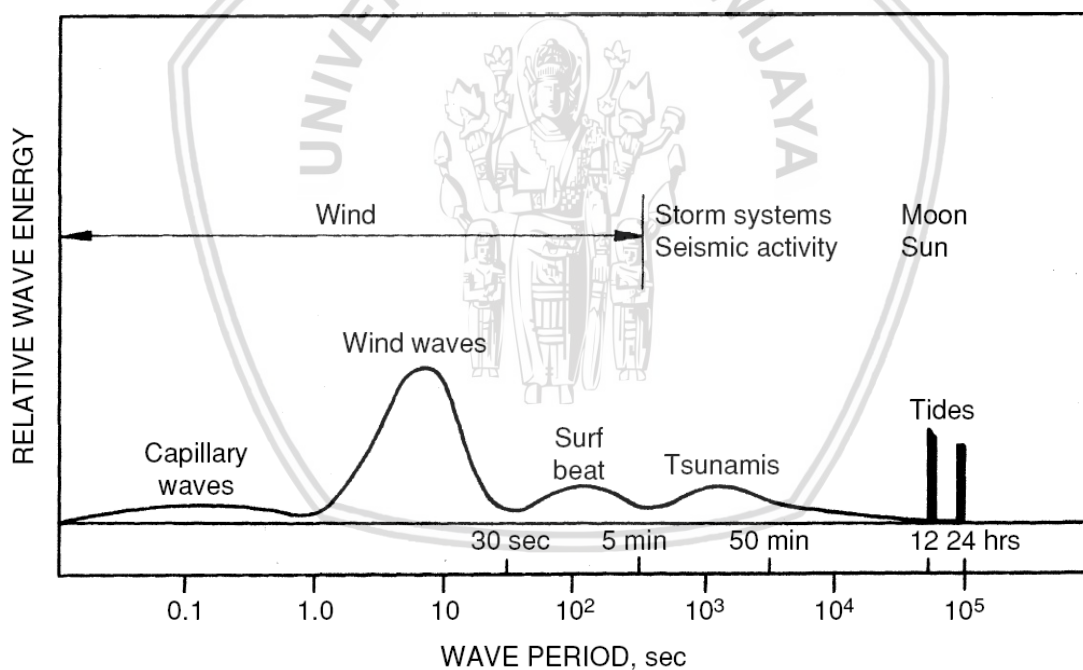
Gambar 2.6 Daerah Penerapan Teori Gelombang Fungsi  $H/d$  dan  $d/L$   
Sumber: Triatmodjo (2008,p.63)



### 2.2.2 Pembangkitan Gelombang

Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh angin meliputi kecepatan angin, lama hembus angin (D), arah angin, dan *fetch* (F) (Triatmojo, 2008:149). Arah angin masih dianggap konstan apabila perubahan arah tidak lebih dari  $15^\circ$ , sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2.5 m/d) terhadap kecepatan rerata.

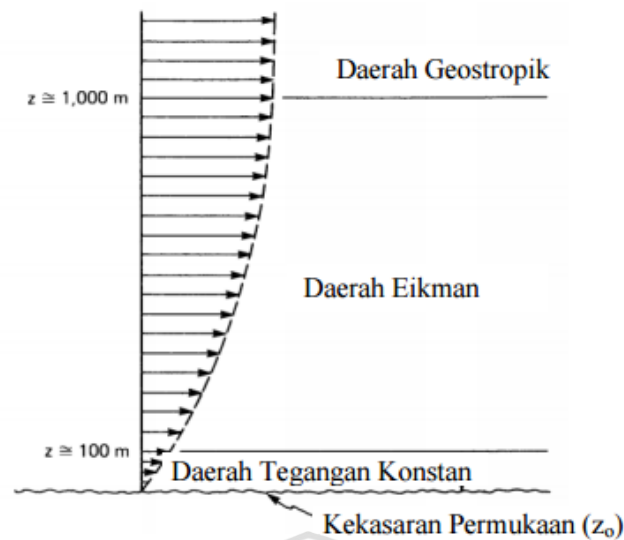
Gelombang yang dibangkitkan oleh angin jauh lebih kompleks jika dibandingkan dengan gelombang monokromatik sederhana, sehingga perlu diamati dengan seksama bagaimana gelombang tersebut dibangkitkan oleh angin dan beberapa karakteristik penting lain. Hal ini penting untuk memahami cara mengukur gelombang yang dibangkitkan oleh angin untuk digunakan dalam analisis teknik. Hal ini juga penting untuk kemampuan memprediksi gelombang-gelombang dalam kondisi angin yang diketahui baik dalam *hindcast* gelombang untuk kondisi angin historis maupun peramalan (*forecast*) gelombang dengan menggunakan prediksi kondisi angin yang akan datang (Sorensen, 2006,p.157).



Gambar 2.7 Model Spektrum Energi Gelombang Laut  
Sumber: Sorensen (2006,p.115)

### 2.3 Kecepatan Angin

Di daerah geostropik yang berada di atas 1000 m kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi tersebut terdapat dua daerah yaitu daerah Ekman yang berada pada elevasi 100 m sampai 1000 m dan daerah dimana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 m sampai 100 m.



Gambar 2.8 Distribusi Vertikal Kecepatan Angin  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.150)

Dalam (Anonim, 2008,p.I-II) diberikan tahapan-tahapan dalam prosedur penentuan kecepatan angin, yaitu:

#### 1. Pengukuran Angin

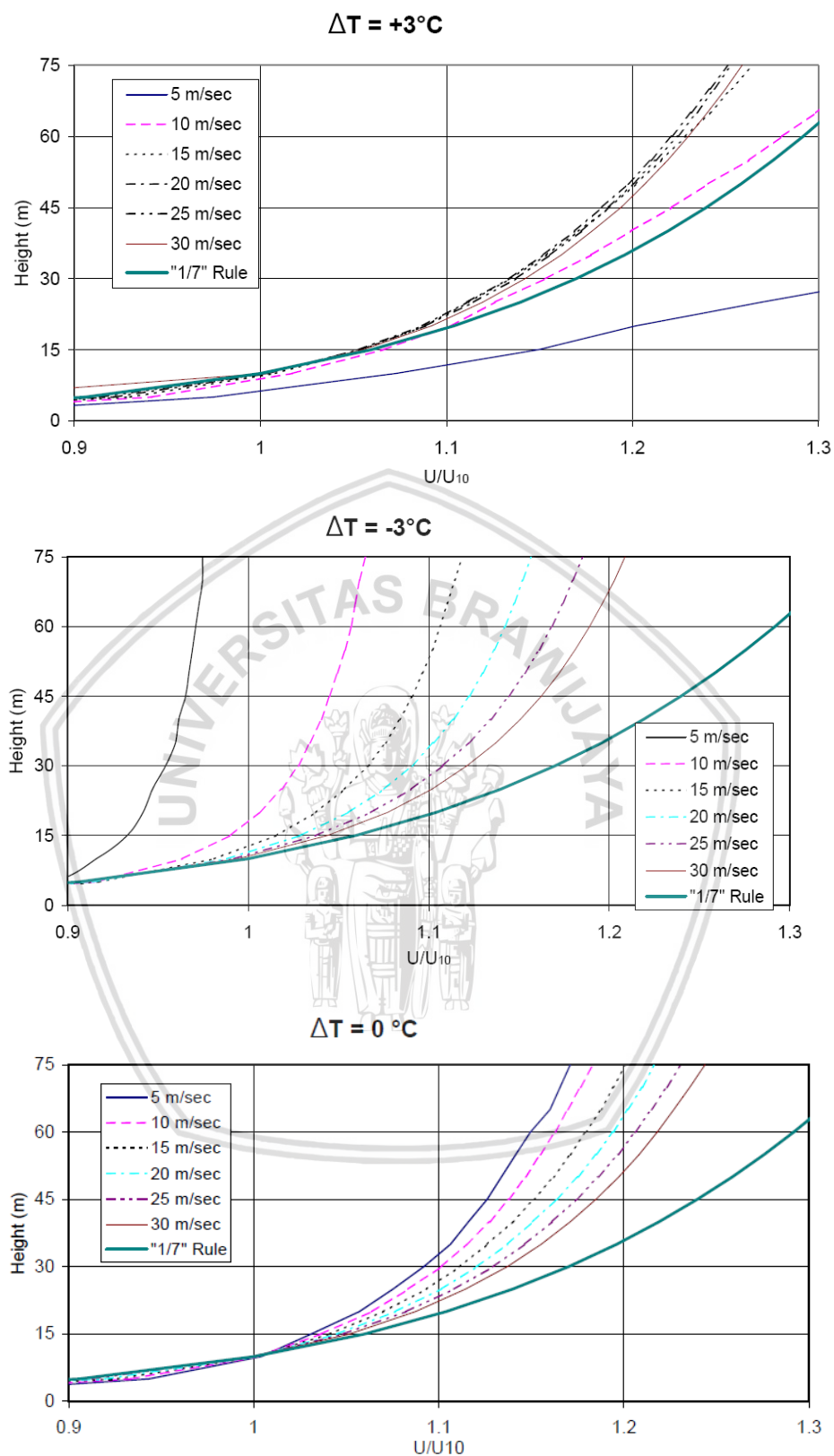
Angin dapat diestimasi menggunakan pengukuran langsung atau tabel cuaca sinoptik (*synoptic weather charts*). Pencatatan angin aktual diutamakan didapat dari lokasi perencanaan (*site*) setempat sehingga efek-efek lokal seperti pengaruh *orographic* dan angin laut bisa dimasukkan. Apabila pengukuran angin di lokasi tidak dapat dilakukan, pengukuran pada lokasi di sekitar *site* atau tabel cuaca sinoptik bisa digunakan. Kecepatan angin harus disesuaikan dengan baik untuk mencegah terjadinya bias pada prediksi gelombang.

#### 2. Prosedur penyesuaian angin hasil observasi

Prosedur yang digunakan dalam penyesuaian angin hasil observasi dengan elevasi yang diketahui, durasi, lokasi (di atas laut atau darat), dan stabilitas lapisan batas.

##### a. Elevasi

Jika kecepatan angin observasi berada pada elevasi lebih dari 10 m di atas permukaan laut, maka perlu disesuaikan dengan menggunakan Gambar 2.9



Gambar 2. 9 Kurva penentuan tinggi terhadap  $U/U_{10}$  pada  $\Delta T = +3^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = 0^\circ\text{C}$ ,  $\Delta T = -3^\circ\text{C}$

Sumber: Anonim (2008,p.II-2-12)

Pada umumnya metode yang digunakan untuk menentukan  $U_{10}$  adalah:

$$U_{10} = \frac{U_z}{U/U_{10}} \quad (2-10)$$

dengan:

$U_{10}$  = kecepatan angin pada elevasi +10 m ( $\text{m.d}^{-1}$ )

$U_z$  = kecepatan angin pada elevasi +z m ( $\text{m.d}^{-1}$ )

$U/U_{10}$  = koefisien koreksi pada elevasi +10 m (Gambar 2.9p)

$z$  = elevasi pengukuran kecepatan angin (m)

$\Delta T$  = beda temperatur udara-laut ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$  = temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  = temperatur laut ( $^{\circ}\text{C}$ )

*1/7 rule* digunakan jika data angin diambil pada kondisi mendekati netral yaitu pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut dengan batasan elevasi 8-12 m (Anonim, 2008,p.II-2-11). Rumus *1/7 rule* adalah sebagai berikut:

$$U_{10} = U_z \left( \frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2-11)$$

$$\Delta T = T_a - T_s \quad (2-12)$$

dengan:

$U_{10}$  = kecepatan angin pada elevasi +10 m ( $\text{m.d}^{-1}$ ).

$U_z$  = kecepatan angin pada elevasi +z m ( $\text{m.d}^{-1}$ ).

$Z$  = elevasi pengukuran kecepatan angin (m).

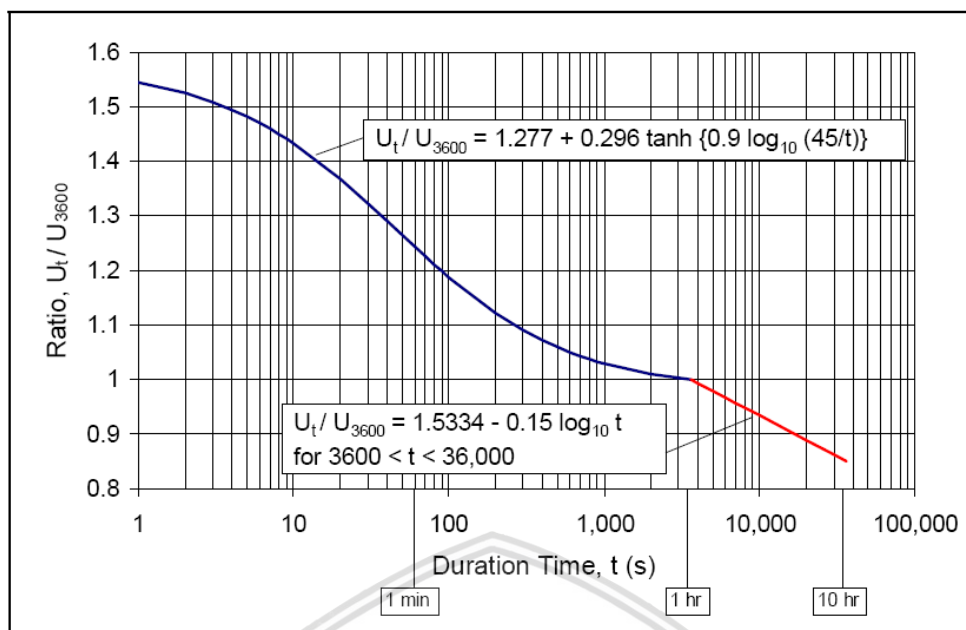
$\Delta T$  = beda temperatur udara-laut ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$  = temperatur udara ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_s$  = temperatur laut ( $^{\circ}\text{C}$ )

#### b. Durasi

Jika angin ekstrim dipertimbangkan, kecepatan angin harus disesuaikan dari waktu rerata pengamatan/observasi menjadi waktu rerata penyesuaian untuk prediksi gelombang menggunakan grafik pada Gambar 2.10.

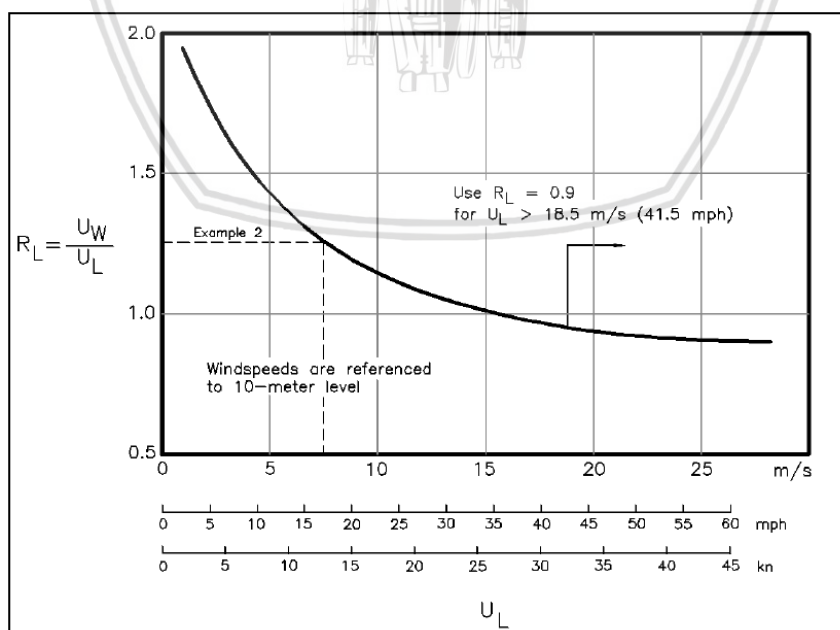


Gambar 2.10 Rasio kecepatan angin pada tiap durasi  $U_t$  ke 1 jam kecepatan angin  $U_{3600}$

Sumber: Anonim (2008,p.II-2-4)

### c. Lokasi

Di atas daratan atau di atas laut (*overland or overwater*). Apabila pengamatan dilakukan di atas darat dan *fetch* cukup panjang untuk pembentukan *full development* pada batas lapisan laut (lebih panjang dari 16 km atau 10 mil), kecepatan angin pengamatan harus disesuaikan menjadi kecepatan angin di atas laut menggunakan Gambar 2.11.



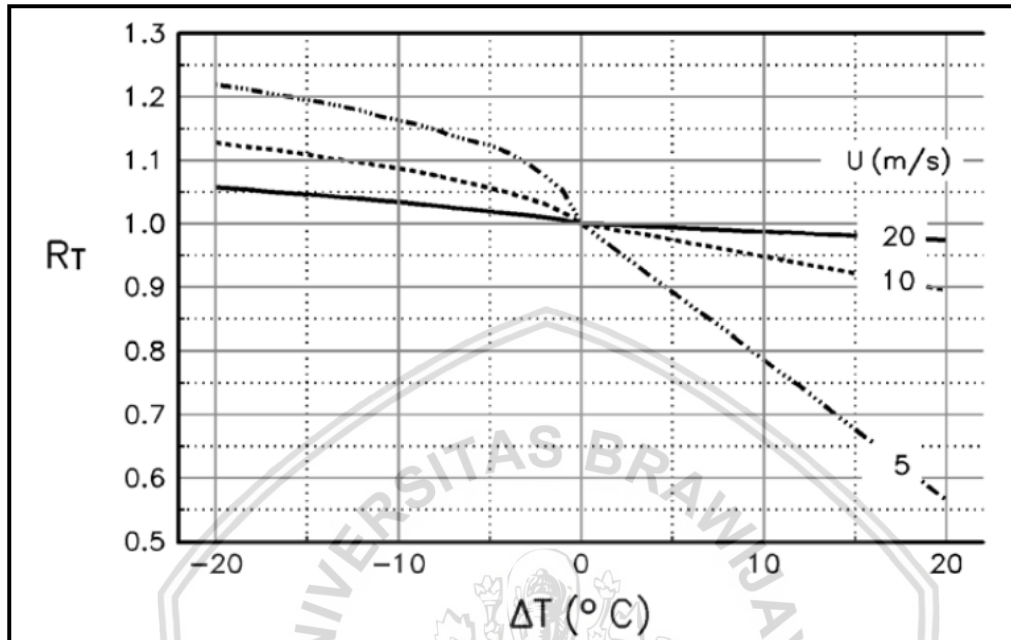
Gambar 2.11 Rasio  $R_L$  dari kecepatan angin di atas laut  $U_W$  terhadap kecepatan angin di atas darat  $U_L$  sebagai fungsi kecepatan angin di atas darat  $U_L$  (setelah Resio dan Vincent 1977)

Sumber: Anonim (2008,p.II-2-14)



#### d. Stabilitas

Perbedaan temperatur antara udara dan laut berpengaruh dalam pembangkitan gelombang ( $\Delta T_{as} = T_a - T_s$ ) dimana  $T_a$  adalah temperatur udara dan  $T_s$  adalah temperatur air laut. Maka perlu dilakukan koreksi stabilitas dengan faktor koreksi  $R_T$ .



Gambar 2.12 Penguatan (*amplification*)  $R_T$  rasio dari  $W_C$  (perhitungan kecepatan angin akibat efek perbedaan temperatur udara-laut) ke  $W_W$  (kecepatan angin di atas laut tanpa efek temperatur)

Sumber: Anonim (2008,p.II-2-15)

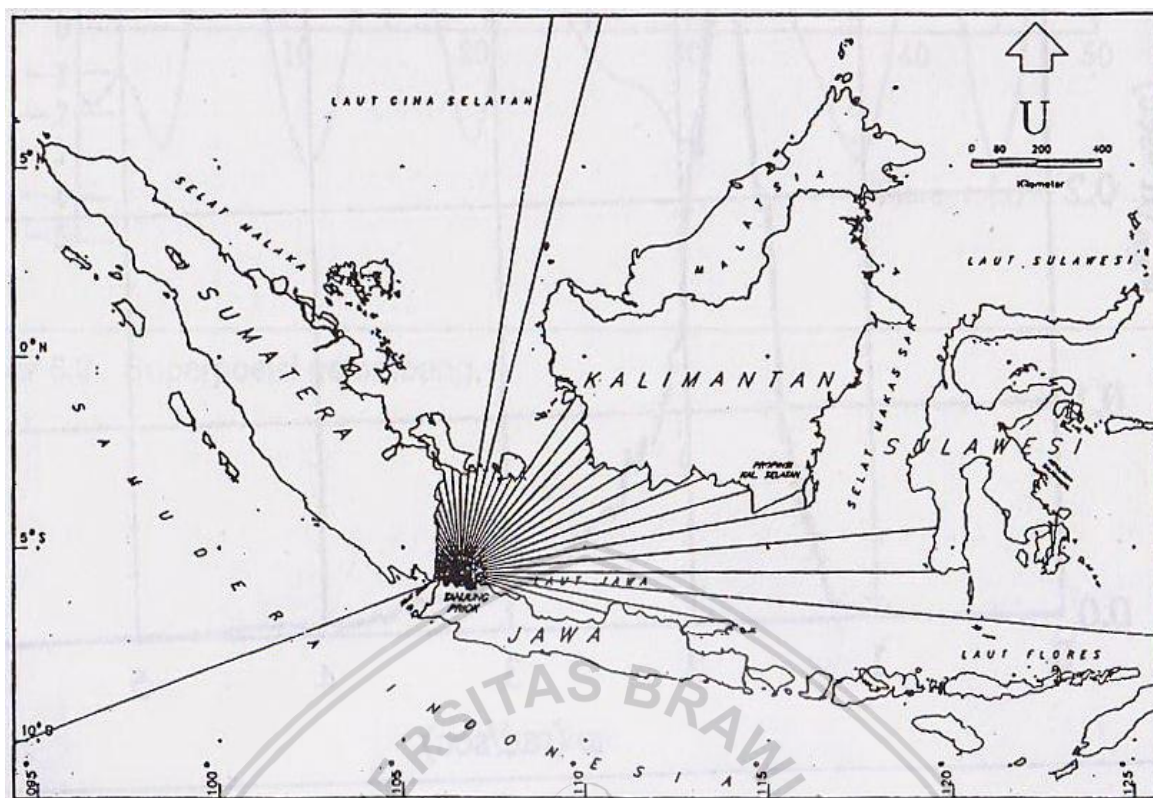
### 3. Faktor Tegangan Angin

Setelah dilakukan berbagai tahap koreksi kecepatan angin seperti yang telah dilakukan sebelumnya, kecepatan angin terkoreksi dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan Persamaan (2-13) berikut.

$$U_A = 0.71 \cdot U^{1.23} \quad (2-13)$$

#### 2.3.1 Fetch

*Fetch* adalah daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Gambar 2.13 menunjukkan cara untuk mendapatkan *fetch efektif* (Triatmodjo, 2008,p.155).

Gambar 2.13 *Fetch*

Sumber: Anonim (2010,p.5-6)

Maka untuk keperluan peramalan gelombang perlu ditentukan *fetch* rerata efektif ( $F_{\text{eff}}$ ) yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$F = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2-14)$$

dengan:

$F_{\text{eff}}$  = *fetch* rerata efektif

$x_i$  = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

$\alpha_i$  = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan  $5^\circ$  sampai sudut sebesar  $45^\circ$  pada kedua sisi dari arah angin

## 2.4 Statistik dan Peramalan Gelombang

Gelombang yang ada di alam adalah tidak teratur (acak) dan sangat kompleks dimana masing-masing gelombang di dalam deretan gelombang mempunyai sifat-sifat berbeda, sehingga gelombang alam harus dianalisa secara statistik. Analisa statistik gelombang diperlukan untuk mendapatkan beberapa karakteristik gelombang seperti gelombang representatif ( $H_1$ ,  $H_0$ ,  $H_s$  dan sebagainya), probabilitas kejadian gelombang, dan gelombang ekstrim (gelombang dengan periode ulang tertentu). Mengingat kurangnya data

gelombang, maka untuk keperluan perencanaan bangunan pantai sering dilakukan peramalan gelombang berdasarkan data angin.

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan, sehingga akan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan. Apabila kecepatan tersebut bertambah, maka riak tersebut akan semakin besar, dan apabila angin tersebut berhembus terus akan menimbulkan gelombang dan jika semakin lama dan semakin kuat angin yang berhembus maka gelombang yang terbentuk juga akan semakin besar. Tergantung pada kecepatan angin, lama hembusan angin (durasi), arah angin dan fetch. Panjang fetch membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk berada di bawah pengaruh angin, sehingga hubungan parameter antara kecepatan angin, fetch, dan durasi digunakan untuk mengetahui nilai ketinggian gelombang dan periodenya.

Pengukuran gelombang di suatu tempat memberikan pencatatan muka air sebagai fungsi waktu. Pengukuran ini dilakukan dalam waktu cukup panjang, sehingga data gelombang akan sangat banyak.

#### 2.4.1 Gelombang Representatif

Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai perlu dipilih tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang dapat mewakili suatu spektrum gelombang. Gelombang tersebut dikenal dengan gelombang representatif. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah atau sebaliknya, maka akan dapat ditentukan tinggi  $H_n$  yang merupakan rerata dari  $n$  persen gelombang tertinggi. Dengan bentuk seperti itu akan dapat dinyatakan karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Misalnya  $H_{10}$  adalah tinggi rerata dari 1 persen gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang. Bentuk yang paling banyak digunakan adalah  $H_{33}$  atau tinggi rerata 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang, yang juga disebut sebagai tinggi gelombang signifikan  $H_s$ . Cara yang sama juga dapat digunakan untuk periode gelombang. Tetapi biasanya periode signifikan didefinisikan sebagai periode rerata untuk sepertiga gelombang tertinggi (Triatmodjo, 2008,p.131).

$$H_s = H_{33\%} = \frac{\sum H_i f_i}{\sum f_i} \quad (2-15)$$

$$T_s = T_{33\%} = \frac{\sum T_i f_i}{\sum f_i} \quad (2-16)$$

Dalam hal ini:

$H_{33\%}$ ,  $T_{33\%}$  : tinggi dan periode gelombang rerata dari 33%

$f$  : frekuensi kejadian

#### 2.4.2 Spektrum Gelombang

Konsep spektrum berdasarkan pada prinsip bahwa cahaya putih terdiri dari berbagai komponen cahaya dengan warna (panjang gelombang) yang berbeda-beda. Spektrum menunjukkan variasi intensitas cahaya sebagai fungsi dari panjang gelombang. Konsep ini berasal dari Newton yang menemukan cahaya matahari bisa diuraikan menjadi spektrum warna dari merah ke violet dengan bantuan prisma.

Pada gelombang laut yang bersifat acak prinsip serupa juga dapat diterapkan, dengan mengasumsikan bahwa gelombang laut terdiri dari sejumlah gelombang (*wavelets*) dengan frekuensi dan arah yang berbeda-beda.

Pembentukan gelombang di perairan dalam (*deep water waves*) dianalisa dengan formula spektrum JONSWAP berikut ini. Prosedur peramalan ini berlaku untuk kondisi gelombang tidak terbentuk penuh (*non fully developed sea*), baik untuk kondisi *fetch* terbatas (*fetch limited condition*), maupun kondisi durasi terbatas (*duration limited condition*) sebagai berikut (Anonim, 2010,p.5-8):

$$\frac{g_{td}}{U_A} = 68,8 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7,5 \times 10^4 \quad (2-17)$$

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,0016 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \leq 0,2433 \quad (2-18)$$

$$\frac{gT_p}{U_A^2} = 0,2857 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \leq 8,134 \quad (2-19)$$

Sedangkan persamaan untuk keadaan gelombang terbentuk penuh diberikan oleh:

$$\frac{gt_d}{U_A} = 7,5 \times 10^4 \quad (2-20)$$

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,2433 \quad (2-21)$$

$$\frac{gT_p}{U_A^2} = 8,134 \quad (2-22)$$

dengan :

$t_d$  = durasi angin

$H_{mo}$  = tinggi gelombang signifikan menurut energi spektral (m)

$T_P$  = periode puncak gelombang (detik)

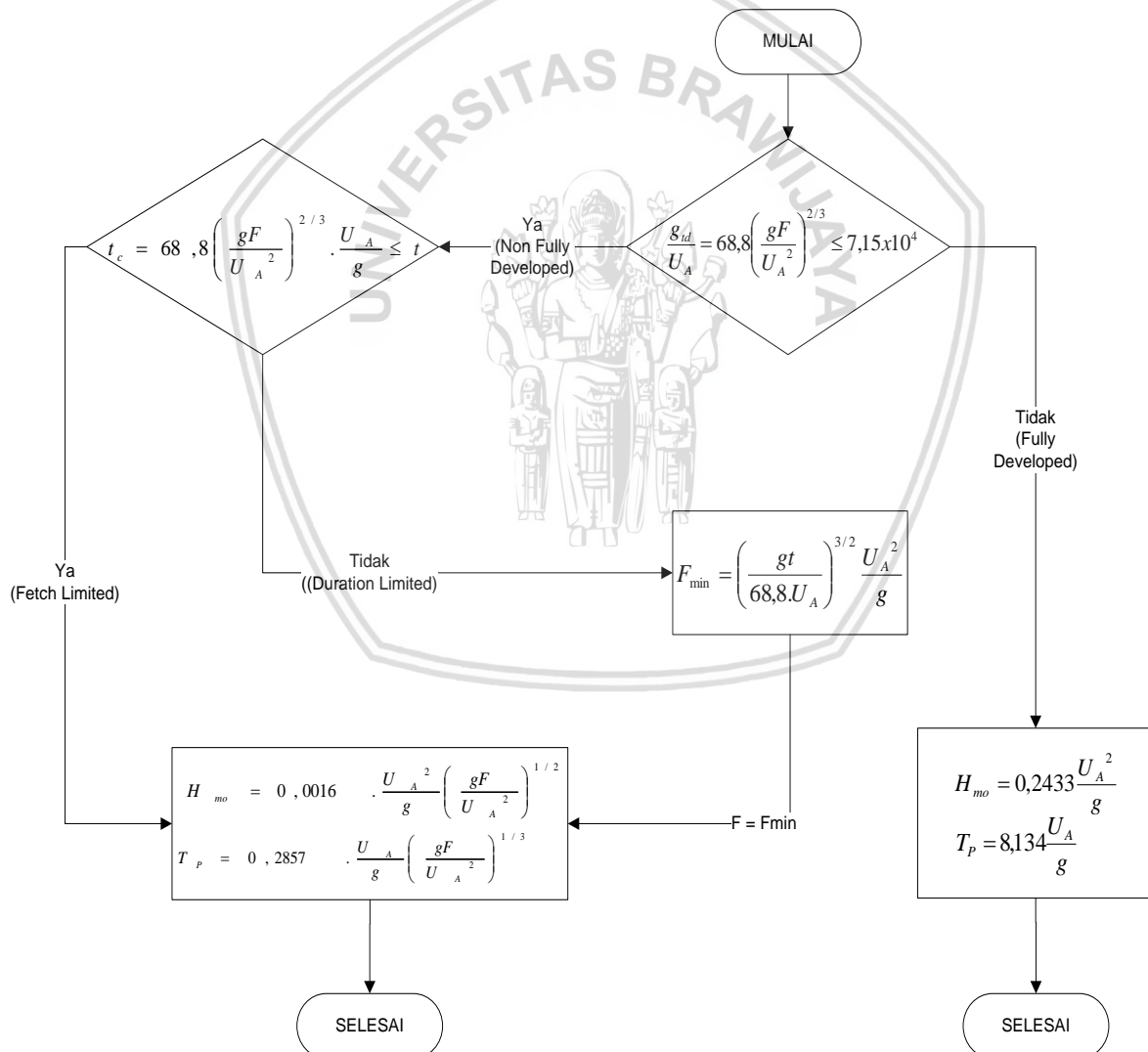
$T_S$  = periode gelombang signifikan (detik)  
 $= 0,95T_P$

$U_A = 0,71U_{10}^{1,23}$  (faktor tekanan angin m.detik<sup>-1</sup>)

$U_{10}$  = kecepatan angin pada ketinggian 10 m (m.detik<sup>-1</sup>)

$F$  = panjang fetch (m)

Dalam bentuk diagram alir, metode peramalan gelombang signifikan disajikan dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Diagram Alir Proses Peramalan Gelombang berdasarkan Data Angin  
 Sumber: Anonim (2010,p.5-10)



### 2.4.3 Penentuan Tinggi Gelombang dan Kala Ulang Rencana

Dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif, seperti  $H_s$ ,  $H_{10}$ ,  $H_1$ ,  $H_{maks}$  dan sebagainya. Berdasar data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam  $T$  tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang  $T$  tahun atau gelombang  $T$  tahunan.

Dalam perencanaan bangunan pantai salah satu faktor yang mempengaruhi adalah frekuensi gelombang-gelombang besar. Untuk menetapkan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang (beberapa tahun). Data tersebut bisa berupa data pengukuran gelombang atau data gelombang hasil prediksi (peramalan) berdasar data angin (Triatmodjo, 2008,p.139).

Pada perencanaan bangunan pantai harus dipilih tinggi gelombang yang paling memadai untuk tujuan tertentu yang telah ditetapkan. Pemilihan tinggi gelombang rencana yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan diberikan pada pedoman di bawah ini. Penentuan kala ulang gelombang rencana biasanya didasarkan pada jenis konstruksi yang akan dibangun dan nilai daerah yang akan dilindungi. Makin tinggi nilai daerah yang diamankan makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Sebagai pedoman penentuan kala ulang gelombang rencana dapat dipakai tabel di bawah ini (Yuwono, 1992,p.III-1).

Tabel 2.1 Pedoman Pemilihan Jenis dan Kala Ulang Gelombang

No.	Jenis Bangunan	Gelombang Rencana	
		Jenis Gelombang	Kala Ulang
1	Struktur fleksibel ( <i>rubble structure</i> )	$H_s$	10 – 50 tahun
2	Struktur semikaku	$H_{0.1} - H_{0.01}$	10 – 50 tahun
3	Struktur kaku (rigid)	$H_{0.01} - H_{maks}$	10 – 50 tahun

Sumber: Yuwono (1992,p.III-1)

Dalam perhitungan prediksi gelombang dengan periode kala ulang tertentu di dalam *Coastal Engineering Manual* bagian II-8 diberikan sebuah pedoman penentuan distribusi statistik yang lebih tepat digunakan untuk berbagai macam tipe gelombang atau angin yang digunakan untuk desain bangunan pantai.

Tabel 2.2 Fungsi Distribusi Probabilitas untuk Proses Hidrodinamik

Parameter	Fungsi Distribusi Representatif
Angin ekstrim ( <i>extreme wind</i> )	FT-1
$H_s$	Weibull
$T_p$	Weibull
$H_s$ ekstrim ( <i>extreme <math>H_s</math></i> )	FT-1, Weibull
Tinggi muka air ( <i>water level</i> )	Log-Pearson Tipe III

Sumber: Anonim (2008,p.II-8-14)

#### 2.4.4 Analisis Frekuensi Gelombang

Dalam memprediksi gelombang dengan periode ulang tertentu terdapat dua metode, yaitu distribusi Gumbel (Fisher-Tippett Type I) dan distribusi Weibull. Dalam metode ini prediksi dilakukan untuk memperkirakan tinggi gelombang signifikan dengan berbagai periode ulang. Tidak ada petunjuk yang jelas untuk memilih salah satu dari kedua metode tersebut. Biasanya pendekatan yang dilakukan adalah mencoba beberapa metode tersebut untuk data tersedia dan kemudian dipilih yang memberikan hasil terbaik (Triatmodjo, 2008,p.140)

Kedua distribusi tersebut mempunyai bentuk berikut ini:

1. Distribusi Fisher-Tippett Tipe I

$$P(H_s \leq \bar{H}_s) = e^{-e^{\left(\frac{\bar{H}_s - B}{A}\right)}} \quad (2-23)$$

2. Distribusi Weibull

$$P(H_s \leq \bar{H}_s) = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{H}_s - B}{A}\right)^K} \quad (2-24)$$

dengan:

$P(H_s \leq \bar{H}_s)$  = probabilitas bahwa  $\bar{H}_s$  tidak dilampaui

$H$  = tinggi gelombang representatif (m)

$\bar{H}$  = tinggi gelombang dengan nilai tertentu (m)

$A$  = parameter skala

$B$  = parameter lokasi

$K$  = parameter bentuk

Data masukan disusun dalam urutan dari besar ke kecil. Selanjutnya probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut:

## 1. Distribusi Fisher-Tippet Tipe I

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12} \quad (2-25)$$

## 2. Distribusi Weibull

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{\kappa}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{\kappa}}} \quad (2-26)$$

dengan:

$P(H_s \leq H_{sm})$  = probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke  $m$  yang tidak dilampaui

$H_{sm}$  = tinggi gelombang urutan ke- $m$

$m$  = nomor urut tinggi gelombang signifikan =  $1, 2, \dots, N$

$N_T$  = jumlah kejadian gelombang selama pencatatan (bisa lebih besar dari gelombang representatif)

Parameter  $A$  dan  $B$  di dalam persamaan (2-22) dan (2-23) dihitung dari metode kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan. Hitungan didasarkan pada analisis regresi linier dari hubungan berikut:

$$H_m = \bar{A}y_m + \bar{B} \quad (2-27)$$

dimana  $y_m$  diberikan oleh bentuk berikut:

untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I

$$y_m = -\ln\{-\ln P(H_s \leq H_{sm})\} \quad (2-27a)$$

untuk distribusi Weibull

$$y_m = [-\ln\{1 - P(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/\kappa} \quad (2-27b)$$

Dengan  $\bar{A}$  dan  $\bar{B}$  adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linier.

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus berikut ini:

$$H_{sr} = \bar{A}y_r + \bar{B} \quad (2-28)$$

dimana  $y_r$  diberikan oleh bentuk berikut:

untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left( 1 - \frac{1}{LT_r} \right) \right\} \quad (2-28a)$$

untuk distribusi Weibull

$$y_r = \{\ln(LT_r)\}^{1/\kappa} \quad (2-28b)$$

dengan :

$H_{sr}$  = tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang  $T_r$  (m)

$T_r$  = periode ulang (tahun)

$K$  = panjang data (tahun)

$L$  = rerata jumlah kejadian per tahun

$$= \frac{N_T}{K}$$

Perkiraan interval keyakinan adalah penting dalam analisis gelombang ekstrim. Hal ini mengingat bahwa biasanya periode pencatatan gelombang adalah pendek dan tingkat ketidakpastian yang tinggi dalam perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya tergantung pada deviasi standar. Deviasi standar yang dinormalkan dihitung dengan persamaan berikut (Triatmodjo, 2008,p.142):

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + \alpha (y_r - c + \varepsilon \ln v)^2 \right]^{1/2} \quad (2-29)$$

dengan:

$\sigma_{nr}$  = standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang  $T_r$

$N$  = jumlah data tinggi gelombang signifikan

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3} + \kappa \sqrt{-\ln v}} \quad (2-30)$$

$\alpha_1, \alpha_2, e, \varepsilon, \kappa$  : koefisien empiris yang diberikan oleh Tabel 2.3.

$$v = \frac{N}{N_T} \quad (2-31)$$

Tabel 2.3 Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar

Distribusi	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\kappa$	$c$	$\varepsilon$
FT-1	0,64	9,0	0,93	0,0	1,33
Weibull (k= 0,75)	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15
Weibull (k= 1,0)	1,92	11,4	0,00	0,3	0,90
Weibull (k= 1,4)	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull (k= 2,0)	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

Sumber: Triatmodjo (2008,p.143)

Besaran absolut dari deviasi standar dari tinggi gelombang signifikan dihitung dengan rumus berikut:

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma_{H_s} \quad (2-32)$$

dengan:

$\sigma_r$  = kesalahan standar dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang  $T_r$

$\sigma_{H_s}$  = deviasi standar dari data tinggi gelombang signifikan

Interval keyakinan dihitung dengan anggapan bahwa perkiraan tinggi gelombang signifikan pada periode ulang tertentu terdistribusi normal terhadap fungsi distribusi yang diperkirakan. Batas interval keyakinan terhadap  $H_{sr}$  dengan berbagai tingkat keyakinan diberikan dalam Tabel 2.4. Perlu diingat bahwa lebar interval keyakinan tergantung pada fungsi distribusi,  $N$ , dan  $v$ ; tetapi berkaitan dengan seberapa baik data mengikuti fungsi distribusi.

Tabel 2.4 Batas Interval Keyakinan Tinggi Gelombang Signifikan Ekstrim

Tingkat keyakinan (%)	Batas Interval Keyakinan terhadap $H_{sr}$	Probabilitas Batas Atas Terlampau (%)
80	$1,28\sigma_r$	10,0
85	$1,44\sigma_r$	7,5
90	$1,65\sigma_r$	5,0
95	$1,96\sigma_r$	2,5
99	$2,58\sigma_r$	0,5

Sumber: Triatmodjo (2008,p.144)

## 2.5 Parameter Gelombang

Parameter gelombang yaitu kecepatan rambat dan panjang gelombang dapat dianalisis dengan menggunakan periode gelombang  $T_s$  dan tinggi gelombang  $H_s$ . Apabila



kedalaman relatif  $d/L$  adalah lebih besar dari 0.5, nilai  $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$ , maka analisis dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (Triatmodjo, 2008,p.17):

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} = 1,56T \quad (2-33)$$

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2 \quad (2-34)$$

dengan :

$L_0$  = panjang gelombang di laut dalam (m)

$C_0$  = kecepatan rambat gelombang di laut dalam (m)

$T$  = periode gelombang di laut dalam (detik)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m \cdot dt^{-2}$ )

Apabila periode gelombang dan tinggi gelombang telah diketahui maka dapat diklasifikasikan jenis gelombang yang terjadi. Pengklasifikasian jenis gelombang yang terjadi dapat dilihat dari perbandingan antara tinggi gelombang dan panjang gelombang yang didapat termasuk jenis *sea* atau *swell* (Yuwono, 1986,p.40).

*Sea* adalah gelombang yang terbentuk di daerah pembangkit dengan kondisi gelombang curam (*steep*) dengan panjang gelombang berkisar antara 10 sampai 20 kali lebih tinggi gelombang, sedangkan *swell* adalah gelombang yang sudah terbentuk di daerah pembangkit dengan kondisi gelombang landai yaitu panjang gelombang berkisar antara 30 sampai 500 kali tinggi gelombang.

## 2.6 Deformasi Gelombang

Proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah yang terjadi mengakibatkan adanya suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, dan gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk. Gelombang yang menjalar menuju suatu rintangan (pantai atau bangunan pantai), sebagian atau seluruh gelombang tersebut akan dipantulkan kembali. Besar kecilnya gelombang yang dipantulkan tergantung pada bentuk dan jenis rintangan. Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk. Di laut dalam bentuk gelombang adalah sinusoidal. Di laut transisi dan dangkal, puncak gelombang menjadi semakin tajam sementara lembah gelombang menjadi semakin landai.

Difraksi, refraksi dan pengaruh pendangkalan, refleksi gelombang, dan gelombang pecah akan menentukan tinggi gelombang dan pola (bentuk) garis puncak gelombang di suatu tempat di daerah pantai. Tinggi gelombang dan arah datangnya gelombang di pantai

adalah penting, digunakan di dalam menentukan arus dan transport sedimen di daerah pantai (Triatmodjo, 2008,p.65).

### 2.6.1 Difraksi Gelombang

Kecenderungan gelombang yang dipancarkan dari sumber melewati celah yang terbatas untuk menyebar atau membelokkan ketika merambat disebut dengan defraksi gelombang. Defraksi gelombang terbentuk apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok disekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya.

Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.

### 2.6.2 Refraksi Gelombang

Refraksi gelombang adalah bila gelombang merambat dengan membentuk sudut terhadap kontur dasar perairan, maka terjadi variasi kecepatan rambat gelombang di sepanjang puncak gelombang.

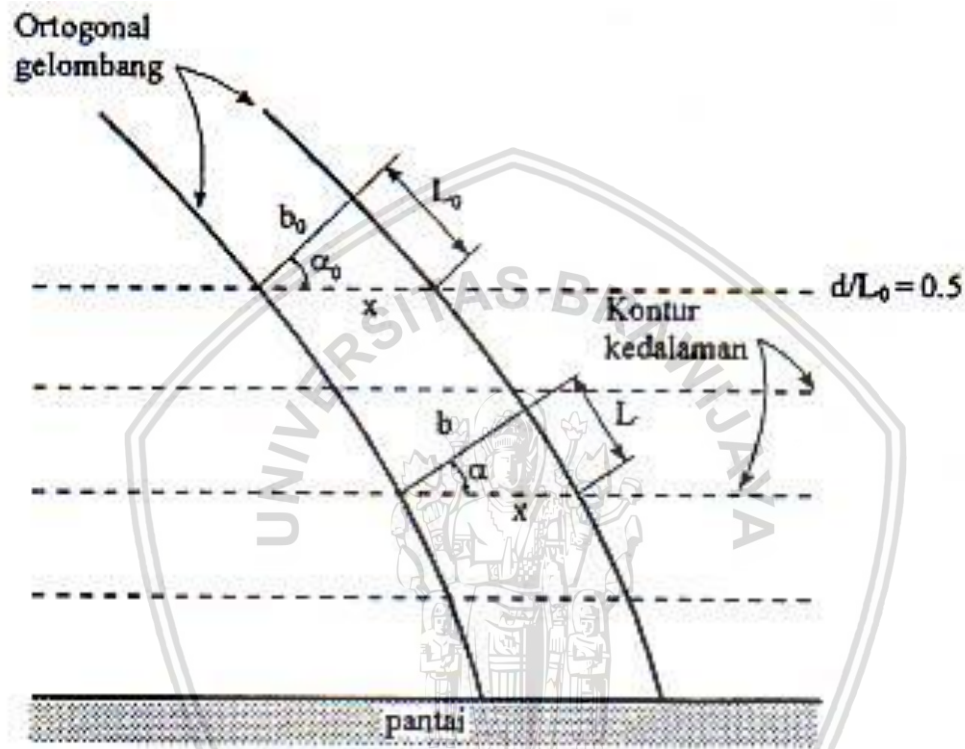
Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

Perubahan arah gelombang karena refraksi tersebut menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi di suatu tempat di daerah pantai. Anggapan-anggapan yang digunakan dalam studi refraksi adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 2008,p.67):

1. Energi gelombang antara dua ortogonal adalah konstan.
2. Arah penjaralan gelombang tegak lurus pada puncak gelombang, yaitu dalam arah ortogonal gelombang.
3. Cepat rambat gelombang yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman di tempat tersebut.
4. Perubahan topografi dasar adalah berangsur-angsur.
5. Gelombang mempunyai puncak yang panjang, periode konstan, amplitudo kecil, dan monokhromatik.

6. Pengaruh arus, angin, dan refleksi dari pantai dan perubahan topografi dasar laut diabaikan.

Tinggi gelombang di suatu tempat dapat ditentukan dengan adanya refraksi dan pendangkalan (*shoaling*) berdasarkan karakteristik gelombang datang. Oleh karena itu refraksi memiliki pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai dan secara sederhana. Hal tersebut dapat diilustrasikan dalam Gambar 2.15 (Triatmodjo, 2008,p.67).



Gambar 2.15 Refraksi Gelombang Kontur Lurus dan Sejajar  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.69)

Proses refraksi gelombang sama dengan refraksi cahaya yang terjadi karena cahaya melintasi dua media perantara berbeda. Dengan kesamaan tersebut maka pemakaian hukum Snell pada optic dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah refraksi gelombang yang disebabkan karena perubahan kedalaman.

### 2.6.3 Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai dan gelombang tersebut tidak menyelesaikan orbitalnya pada suatu kedalaman, maka gelombang akan semakin tinggi dan curam, dan akibatnya gelombang akan mulai pecah. Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Sebuah gelombang akan pecah bila perbandingan antara kedalaman perairan dan tinggi gelombang adalah 1,28 atau bila perbandingan antara tinggi gelombang dan panjang

gelombang melampaui 1 : 7. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum di mana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh bentuk berikut ini:

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} = 0,142 \quad (2-35)$$

Pada kemiringan tersebut kecepatan partikel di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relatif  $d/L$  dan kemiringan dasar laut  $m$ . Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada kedalaman tertentu, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah  $d_b$ . Tinggi gelombang pecah diberi notasi  $H_b$ . Munk (1949) memberikan rumus untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah berikut ini (Triatmodjo, 2008,p.94).

$$\frac{H_b}{H_0'} = \frac{1}{3,3 \left( \frac{H_0'}{L_0} \right)^{1/3}} \quad (2-36)$$

Para ilmuwan membuktikan bahwa  $H_b/H_0'$  dan  $d_b/H_b$  tergantung pada kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang. Untuk menghitung tinggi dan kedalaman gelombang pecah pada kedalaman tertentu digunakan bentuk rumus berikut ini:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left( \frac{aH_b}{gT^2} \right)} \quad (2-37)$$

Dengan  $a$  dan  $b$  merupakan fungsi kemiringan pantai  $m$  dan diberikan oleh persamaan berikut:

$$a = 43,75 (1 - e^{-19m}) \quad (2-38)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \quad (2-39)$$

dengan:

$$\frac{H_b}{H_0'} = \text{indeks tinggi gelombang pecah}$$

$H_b$  = tinggi gelombang pecah (m)

$H_0$  = tinggi gelombang di laut dalam tidak terefraksi (m)

$L_0$  = panjang gelombang di laut dalam (m)

$d_b$  = kedalaman gelombang pecah (m)

$T$  = periode gelombang (detik)

$m$  = kemiringan dasar laut.

Saat pecah gelombang akan mengalami perubahan bentuk. Dyer (1978) membedakannya kedalam tiga bentuk empasan (tipe breaker), sementara Galvin (1968) mengklasifikasikan tipe empasan gelombang yaitu (Triatmodjo, 2008,p.95):

#### 1. *Spilling*

*Spilling* biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang selama mengalami pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang (Triatmodjo, 2008,p.95).

#### 2. *Plunging*

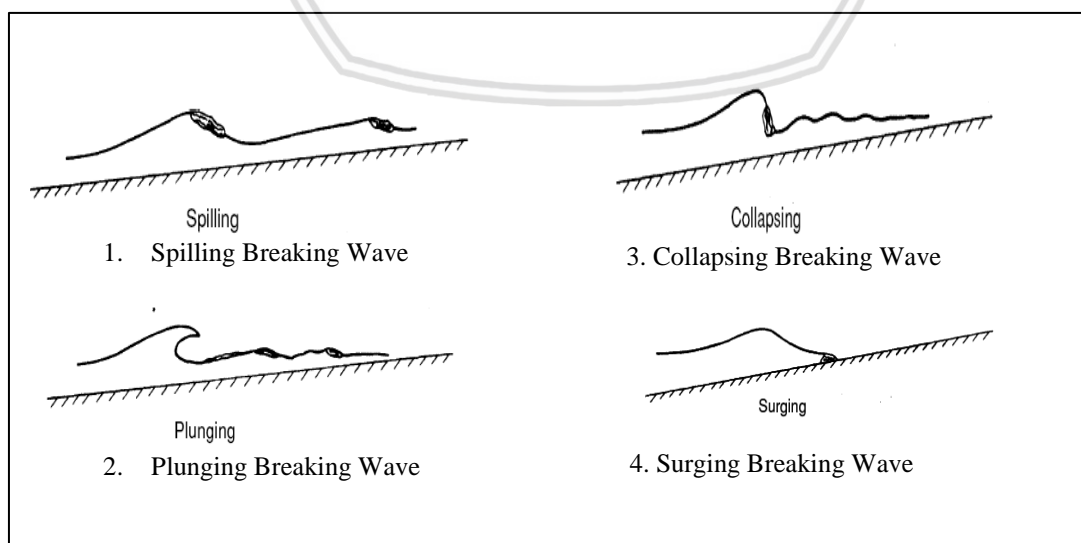
Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil dipantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal

#### 3. *Collapsing*

Merupakan gelombang yang pecah setengah dari biasanya. Saat pecah gelombang tersebut tidak naik kedarat, terdapat buih dan terjadi pada pantai yang sangat curam

#### 4. *Surging*

*Surging* puncak gelombang tidak pecah, dan bagian depan dari gelombang terus berjalan ke pantai dengan sedikit pecah.



Gambar 2.16 Tipe-Tipe Gelombang Pecah

Sumber: Sorensen (2006,p.41)



Jenis gelombang pecah dapat diperkirakan dengan menggunakan parameter tidak berdimensi, *surf similarity parameter*  $\xi_b$  yaitu (Anonim, 2010,p.II-3-17):

$$\xi_b = \frac{m}{\left(\frac{H_b}{L_0}\right)^{1/2}} \quad (2-40)$$

dengan:

$m$  = kemiringan pantai

$H_b$  = tinggi gelombang pecah (m)

$L_0$  = panjang gelombang di laut dalam (m)

Jenis gelombang pecah berdasarkan *surf similarity parameter* diberikan di Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Jenis Gelombang Pecah Berdasarkan *Surf Similarity Parameter*

Jenis Gelombang Pecah	$\xi_b$
<i>Spilling</i>	$\xi_b < 0,5$
<i>Plunging</i>	$0,5 < \xi_b < 3,3$
<i>Surging/ collapsing</i>	$\xi_b > 3,3$

Sumber: Anonim (2008,p.II-4-3)

## 2.7 Proses Erosi dan Sedimentasi Pantai

Terjadinya erosi atau akresi pada suatu pantai tergantung pada keadaan angkutan sedimen di daerah tersebut. Pada suatu pantai yang stabil dapat terjadi erosi ataupun akresi apabila di daerah tersebut didirikan suatu bangunan (misal: pemecah gelombang, groin, jetty dan sebagainya (Yuwono, 1982,p.47)

Gelombang yang besar akan pecah lebih jauh dari pantai, hal ini berarti *surf zone* bertambah lebar dan mengakibatkan bertambahnya transportasi sedimen di pantai tersebut. Perubahan periode gelombang atau tinggi gelombang menyebabkan pergerakan pasir ke arah pantai atau ke arah laut. Sudut antara puncak gelombang yang sedang pecah (*breaking wave*) dengan garis pantai menunjukkan arah daripada gerakan air di daerah *surf zone* dan biasanya juga menunjukkan arah *longshore transport* (Yuwono, 1982,p.48).

### 2.7.1 Transpor Sedimen

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen pantai dapat

diklasifikasikan menjadi transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) dan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*). Transpor menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedang transpor sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai (Triatmodjo, 2008,p.180).

Sifat-sifat sedimen pantai dapat mempengaruhi laju transpor sedimen di sepanjang pantai. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju sedimen antara lain:

1. Karakteristik material sedimen (distribusi dan gradasi butir, kohesifitas faktor bentuk, ukuran, rapat massa dan sebagainya)
2. Karakteristik gelombang dan arus (arah dan kecepatan angin, posisi pembangkitan gelombang, pasang surut, dan kondisi topografi pantai)

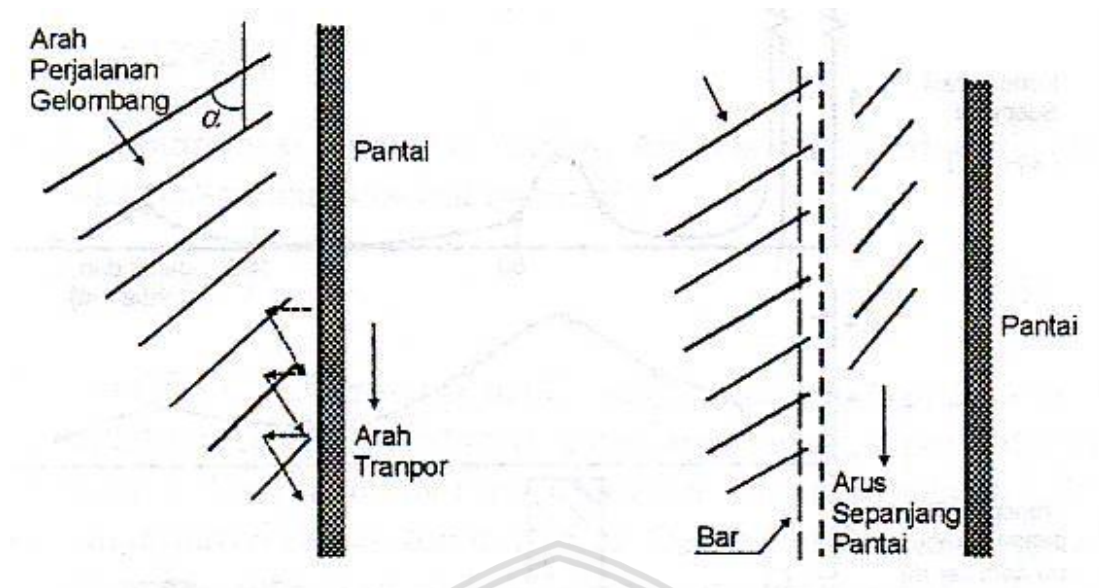
#### **2.7.1.1 Transpor Sedimen Menuju-Meninggalkan Pantai (*Onshore-Offshore Transport*)**

Transpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) memiliki arah tegak lurus pantai. Proses transpor sedimen tegak lurus biasanya terjadi pada daerah teluk dan pantai-pantai yang memiliki gelombang yang relatif tenang. Transpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai dapat dilihat pada kemiringan pantai dan bentuk dasar lautnya. Energi yang terdapat pada gelombang akan menggerus bibir pantai dan menimbulkan erosi yang ditandai dengan adanya dinding pantai.

Gerakan air di dekat dasar menimbulkan tegangan geser pada sedimen dasar. Apabila nilai tegangan geser dasar  $\tau_b$  lebih besar dari tegangan kritik erosi  $\tau_{bc}$ , partikel sedimen mulai bergerak. Dianggap bahwa berat terendam partikel sedimen yang bergerak tiap satuan luas adalah sebanding dengan tegangan geser (Triatmodjo, 2008,p.180).

#### **2.7.1.2 Transpor Sedimen Sepanjang Pantai (*Longshore Transport*)**

Terdapat dua komponen utama dalam transport sedimen sepanjang pantai (Gambar 2.20). Komponen pertama adalah transport sedimen dalam bentuk mata gergaji di garis pantai terjadi pada waktu gelombang menuju pantai dengan membentuk sudut terhadap garis pantai maka gelombang tersebut akan naik ke pantai (*uprush*) yang juga membentuk sudut. Massa air yang naik tersebut kemudian turun lagi dalam arah tegak lurus pantai. Gerak air tersebut membentuk lintasan seperti mata gergaji, yang disertai dengan terangkutnya sedimen dalam arah sepanjang pantai. Komponen kedua adalah transpor sepanjang pantai di *surf zone* merupakan transpor sedimen yang ditimbulkan oleh arus sepanjang pantai yang dibangkitkan oleh gelombang pecah. Transpor sedimen ini terjadi di *surf zone*,



Gambar 2.17 Transpor Sedimen Sepanjang Pantai

Sumber: Triatmodjo (2008,p.185)

Prediksi mengenai transpor sedimen sepanjang pantai sangat penting dilakukan. Hal ini dikarenakan transpor sedimen pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya. Beberapa cara yang biasanya dilakukan untuk memprediksi transpor sedimen sepanjang pantai adalah sebagai berikut:

1. Mengukur debit sedimen di lokasi yang ditinjau ini merupakan cara terbaik untuk memperkirakan transpor sedimen sejajar pantai pada suatu tempat.
2. Dalam suatu periode tertentu peta atau pengukuran yang menunjukkan perubahan elevasi dasar dapat memberikan petunjuk tentang angkutan sedimen. Cara ini terutama baik apabila di daerah yang ditinjau terdapat bangunan yang bisa menangkap transpor sedimen sepanjang pantai, misalnya groin, pemecah gelombang suatu pelabuhan dan sebagainya.
3. Rumus empiris yang didasarkan pada kondisi gelombang di daerah yang ditinjau.

### 2.7.2 Sifat-Sifat Sedimen Pantai

Dalam mempelajari proses erosi dan sedimentasi sifat-sifat sedimen adalah hal yang sangat penting. Sifat-sifat tersebut dapat diketahui melalui ukuran partikel dan distribusi butir sedimen, rapat massa, dan sebagainya. Diantara beberapa sifat sedimen tersebut yang paling penting adalah distribusi ukuran butir. Sedimen pantai dapat terjadi melalui erosi garis pantai itu sendiri, daratan yang dibawa oleh sungai, dan laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai (Triatmodjo, 2008,p.166).

### 1. Ukuran partikel sedimen

Sedimen pantai diklasifikasikan berdasar ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*), cobble, dan batu (*boulder*). Pada umumnya distribusi ukuran butiran pasir mendekati distribusi log normal, sehingga sering digunakan pula skala satuan phi, yang didefinisikan sebagai (Triatmodjo, 2008,p.166):

$$\phi = -\log_2 D \quad (2-41)$$

dengan:

$\phi$  = skala satuan distribusi ukuran butiran pasir

$D$  = diameter butir (mm)

Ukuran butir median  $D_{50}$  banyak digunakan untuk ukuran butir pasir. Berdasarkan distribusi log normal tersebut, ukuran butir rerata  $D_m$  dan standar deviasi  $\sigma_D$  dapat dihitung dengan cara berikut:

$$D_m = \sqrt{D_{16} D_{84}} \quad (2-42)$$

$$\sigma_D = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}} \quad (2-43)$$

dengan:

$D_m$  = diameter butir rerata (mm)

$D_{16}$  = 16% berat sampel lebih halus dari diameter butir tersebut.

$D_{84}$  = 84% berat sampel lebih halus dari diameter butir tersebut.

$\sigma_D$  = standar deviasi

Untuk mengukur derajat penyebaran ukuran butir terhadap nilai rerata sering digunakan koefisien  $S_0$  yang didefinisikan sebagai (Triatmodjo, 2008,p.167):

$$S_0 = \sqrt{\frac{D_{75}}{D_{25}}} \quad (2-44)$$

dengan:

$1,0 \leq S_0 \leq 1,5$  ukuran butir seragam

$1,5 \leq S_0 \leq 2,0$  ukuran butir pasir sedang

$2,0 \leq S_0$  gradasi ukuran pasir sangat bervariasi

Tabel 2.6 Klasifikasi Ukuran Batu dan Sedimen

Klasifikasi		Diameter Partikel	
		mm	$\phi$
Batu		256	-8
Cobble		128	-7
		64	-6
Koral (Pebble)	Besar	32	-5
	Sedang	16	-4
	Kecil	8	-3
	Sangat kecil	4	-2
Kerikil		2	-1
Pasir	Sangat kasar	1	0
	Kasar	0,5	1
	Sedang	0,25	2
	Halus	0,125	3
	Sangat halus	0,063	4
Lumpur	Kasar	0,031	5
	Sedang	0,015	6
	Halus	0,0075	7
	Sangat halus	0,0037	8
Lempung	Kasar	0,0018	9
	Sedang	0,0009	10
	Halus	0,0005	11
	Sangat halus	0,0003	12

Sumber: Triatmodjo (2008,p.167)

## 2. Rapat massa, berat jenis, dan rapat relatif

Rapat massa  $\rho$  adalah massa tiap satuan volume, sedang berat jenis  $\gamma$  adalah berat tiap satuan volume. Terdapat hubungan antara berat jenis dan rapat massa, yang mempunyai bentuk  $\gamma = \rho g$ . Rapat massa atau berat jenis sedimen merupakan fungsi dari komposisi mineral. Rapat relatif adalah perbandingan antara rapat massa suatu zat dengan rapat massa air pada 4°C. Rapat massa air pada temperatur tersebut adalah 1000kg/m<sup>3</sup> dan rapat relatif pasir adalah sekitar 2,65 (Triatmodjo, 2008,p.168).

## 3. Kecepatan endap

Kecepatan endap butir sedimen juga penting di dalam mempelajari mekanisme transpor sedimen, terutama untuk sedimen suspensi, untuk sedimen non kohesif seperti pasir, kecepatan endap dapat dihitung dengan rumus Soulsby yang tergantung pada rapat massa sedimen dan air, viskositas air, dimensi dan bentuk partikel sedimen. Untuk sedimen kohesif kecepatan endap dipengaruhi oleh banyak faktor seperti konsentrasi



sedimen suspensi, salinitas dan diameter partikel. Konsentrasi suspensi adalah parameter paling penting dalam proses flokulasi, yang berarti juga pada kecepatan endap (Triatmodjo, 2008, p. 171).

$$\omega s = \frac{v}{D} \left[ \left( 10,36^2 + 1,049 D_*^3 \right)^{\frac{1}{2}} - 10,36 \right] \quad (2-45)$$

$$D_* = \left[ \frac{g(s-1)}{v^2} \right]^{\frac{1}{3}} D \quad (2-46)$$

dengan:

$\omega s$  = kecepatan endap (m/detik)

$v$  = viskositas kinematik air laut ( $1,36 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$ )

$D_*$  = parameter ukuran partikel tak berdimensi

$g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m}^2/\text{detik}$ )

$s = \frac{\rho_s}{\rho}$ ;  $\rho_s$  adalah massa jenis sedimen,  $\rho$  adalah massa jenis air laut ( $1027 \text{ kg/m}^3$ )

$D = D_{50}$

### 2.7.3 Keseimbangan Sedimen Pantai

Keseimbangan sedimen pantai adalah banyaknya sedimen yang masuk dikurangi dengan yang keluar. Untuk mengevaluasi sedimen yang masuk dan yang keluar dari suatu pantai yang ditinjau digunakan analisis keseimbangan sedimen pantai yang didasarkan pada hukum kontinuitas atau kekekalan masa sedimen. Dengan menggunakan analisis ini maka dapat diperkirakan daerah-daerah pantai yang mengalami erosi atau akresi. Pendekatan yang dilakukan dengan mengevaluasi berbagai macam sedimen yang masuk dan yang keluar dan kemudian membandingkannya untuk mengetahui apakah suatu ruas pantai yang ditinjau mengalami erosi atau akresi. Apabila nilai imbangannya nol maka pantai dalam kondisi stabil, jika nilainya positif pantai mengalami akresi dan sebaliknya untuk nilai imbalan negatif pantai mengalami erosi

Sedimen yang masuk di daerah pantai yang ditinjau meliputi suplai sedimen dari sungai, material yang berasal dari erosi tebing, angkutan sedimen sepanjang pantai dan tegak lurus pantai (*onshore transport*) yang masuk ke ruas yang ditinjau, dan penimbunan pantai (*beach nourishment*). Sedangkan sedimen yang keluar adalah angkutan sedimen sepanjang pantai dan tegak lurus pantai (*offshore transport*) yang keluar dari ruas pantai yang ditinjau dan penambangan pasir pantai.



Dalam analisis imbangan sedimen pantai, daerah pantai dibagi menjadi sejumlah ruas (sel). Setiap ruas mempunyai semua unsur dari sedimen yang masuk dan yang keluar. Dengan mengevaluasi imbangan sedimen di masing-masing sel, maka kondisi daerah sepanjang pantai dapat diketahui dengan lebih baik. Analisis imbangan sedimen dapat digunakan untuk memperkirakan pengaruh pembuatan bangunan pantai terhadap pantai di sekitarnya (Triatmodjo, 2008,p.189).

#### **2.7.4 Model Perubahan Garis Pantai**

Akresi dan erosi yang terjadi disertai dengan maju mundurnya garis pantai. Perubahan profil pantai sangat dipengaruhi oleh angkutan sedimen tegak lurus pantai. Gelombang badai yang terjadi dalam waktu singkat dapat menyebabkan terjadinya erosi pantai. Selanjutnya gelombang biasa yang terjadi sehari-hari akan membentuk kembali pantai yang sebelumnya tererosi. Dengan demikian dalam satu siklus yang tidak terlalu lama profil pantai kembali pada bentuk semula, dengan kata lain dalam satu siklus tersebut pantai dalam kondisi stabil. Sebaliknya, akibat pengaruh transpor sedimen sepanjang pantai, sedimen dapat terangkut sampai jauh dan menyebabkan perubahan garis pantai. Untuk mengembalikan perubahan garis pantai pada kondisi semula diperlukan waktu yang cukup lama. Bahkan apabila gelombang dari satu arah lebih dominan daripada gelombang dari arah yang lain, sulit untuk mengembalikan garis pantai pada posisi semula (Triatmodjo, 2008,p.190).

#### **2.8 Kriteria Kerusakan Pantai**

Pantai atau pesisir memiliki sifat dinamis yang rentan terhadap perubahan lingkungan, hal tersebut terjadi baik karena proses alami maupun aktivitas manusia. Manusia melakukan berbagai aktivitas untuk meningkatkan taraf hidupnya, sehingga melakukan berbagai perubahan terhadap ekosistem dan sumberdaya alam yang berpengaruh terhadap lingkungan di daerah pantai. Daerah pantai atau pesisir setidaknya memiliki karakteristik sebagai berikut (Anonim, 2010,p.3) :

1. Terdapat keterkaitan ekologis baik antar ekosistem dalam kawasan pesisir maupun antara kawasan pesisir dengan laut lepas dan lahan atas.
2. Dalam suatu kawasan pesisir biasanya terdapat lebih dari dua macam sumberdaya alam dan jasa-jasa lingkungan yang dapat dikembangkan untuk kepentingan pembangunan, contohnya : pemukiman dan pertambakan, wisata dan perikanan, dan lain-lain.

3. Dalam suatu kawasan pesisir umumnya terdapat lebih dari satu kelompok masyarakat yang memiliki ketrampilan atau keahlian dan kesenangan bekerja yang berbeda. Hal ini mengakibatkan berbagai macam pemanfaatan sumber daya yang ada.
4. Pemanfaatan suatu kawasan pesisir secara monokultur adalah sangat rentan terhadap perubahan eksternal maupun internal yang menjurus pada kegagalan usaha baik secara ekologis maupun ekonomis.
5. Kawasan pesisir merupakan kawasan milik bersama (*common property resources*) yang dapat dimanfaatkan oleh seluruh manusia (*open acces*). Setiap pengguna sumber daya berkeinginan untuk memaksimalkan keuntungan sehingga menyebabkan terjadinya pencemaran, konflik pemanfaatan ruang, dan *over*-eksploitasi sumber daya alam.

Agar potensi sumber daya alam terus memperhatikan aspek-aspek lingkungan dalam arti secara ekonomi tetap memperoleh keuntungan yang maksimum akan tetapi tetap sesuai dengan daya dukung dan kelestarian lingkungan, sehingga dalam upaya pengelolaan tetap memelihara dan melestarikan tidak hanya memanfaatkan maka dipergunakan pedoman kriteria kerusakan pantai meliputi jenis kerusakan pantai yang disebabkan beerapa hal berikut ini :

1. Fasilitas umum dan permukiman yang terlalu dekat dengan garis pantai.
2. Areal pertanian yang terlalu dekat dengan garis pantai.
3. Penambangan pasir di kawasan pesisir atau gumuk pasir.
4. Pencemaran lingkungan di perairan pantai.
5. Intrusi air laut.
6. Penebangan hutan atau tanaman mangrove untuk dijadikan tambak.
7. Pengambilan atau perusakan terumbu karang.
8. Banjir yang dikarenakan rob air pasang.

### **2.8.1 Kriteria Kerusakan Pantai akibat Erosi atau Abrasi dan Kerusakan Bangunan**

Kriteria kerusakan yang dimaksudkan disini adalah kerusakan yang terjadi disebabkan oleh faktor alamiah maupun akibat aktivitas manusia.

Tolok ukur yang dipergunakan dalam penilaian kerusakan pantai terdapat 3 macam, yaitu

1. Kerusakan pada lingkungan pantai
2. Erosi atau abrasi, serta kerusakan bangunan
3. Berbagai permasalahan yang timbul akibat adanya sedimentasi

Untuk mengkaji kerusakan pantai akibat adanya erosi atau abrasi dan rusaknya bangunan pantai akan ditinjau dari dua hal saja, yaitu:

1. Erosi atau abrasi yang menyebabkan perubahan garis pantai

Terjadinya perubahan terhadap garis pantai disebabkan oleh gangguan terhadap angkutan sedimen menyusur pantai, adanya gangguan bangunan, pasokan sedimen berkurang, dan kondisi tebing yang lemah sehingga tidak tahan terhadap hempasan gelombang. Dalam penilaian kerusakan pantai kriterianya adalah laju mundurnya pantai sebagai berikut :

- Ringan : Garis pantai maju mundur, tetapi masih dalam kondisi stabil dinamis.
- Sedang : Pantai mundur  $< 1\text{m}/\text{tahun}$ .
- Berat : Pantai mundur antara  $1\text{m}/\text{tahun}$  hingga  $2\text{m}/\text{tahun}$ .
- Amat Berat : Pantai mundur antara  $2\text{m}/\text{tahun}$  hingga  $3\text{m}/\text{tahun}$ .
- Amat Sangat Berat : Pantai mundur hingga  $>3\text{m}/\text{tahun}$ .

2. Erosi atau abrasi yang menyebabkan gerusan pada fondasi bangunan atau abrasi pada bangunan itu sendiri (kerusakan bangunan).

Pada kawasan pantai sering dijumpai infrastruktur buatan manusia yang dibuat dengan tujuan tertentu. Gerusan yang terjadi pada fondasi bangunan dan kerusakan bangunan akibat gempuran gelombang menyebabkan bangunan tidak efektif dan membahayakan lingkungan atau masyarakat sekitar. Berikut ini adalah kriteria penilaian kerusakan pantai akibat gerusan dan kerusakan bangunan yang dapat dilihat dari kenampakan bangunan itu sendiri seperti keruntuhan bangunan, abrasi bangunan, dan fungsi bangunan :

- Ringan : Bangunan pantai masih dapat berfungsi dengan baik di atas 75%.
- Sedang : Bangunan pantai masih berfungsi antara 50% sampai 75%.
- Berat : Bangunan pantai hanya berfungsi antara 25% samapai 50% tetapi tidak membahayakan lingkungan.
- Amat Berat : Bangunan pantai hanya berfungsi antara 25% samapai 50% dan membahayakan lingkungan.
- Amat Sangat Berat : Bangunan sudah rusak parah dan membahayakan lingkungan.

### 2.8.2 Tolok Ukur Kepentingan Pantai

Penentuan prioritas penanganan kerusakan pantai tidak hanya dilihat pada bobot kerusakan pantai akan tetapi juga didasarkan pada bobot tingkat kepentingan pantai. Pembobotan tingkat kepentingan pantai disajikan dalam Tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Skala Kepentingan berdasarkan Pemanfaatan Ruang

No	Jenis Pemanfaatan Ruang	Skala Kepentingan	Koefisien Bobot Tingkat Kepentingan
1.	Konservasi warisan dunia (seperti pura Tanah lot)	Internasional	2
2.	Pariwisata yang mendatangkan devisa, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan negara, bandar udara, pelabuhan, pulau-pulau terluar	Kepentingan Negara	1,75
3.	Pariwisata domestik, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan provinsi, bandar udara, pelabuhan	Kepentingan Provinsi	1,50
4.	Pariwisata domestik, tempat ibadah, tempat usaha, industri, fasilitas pertahanan dan keamanan, daerah perkotaan, jalan kabupaten, bandar udara, pelabuhan	Kepentingan Kabupaten/Kota	1,25
5.	Permukiman, pasar desa, jalan desa, tempat ibadah	Kepentingan lokal terkait dengan penduduk dan kegiatan perekonomian	1,00
6.	Lahan pertanian (perkebunan, persawahan, dan pertambakan) rakyat	Kepentingan lokal terkait dengan pertanian	0,75
7.	Lahan tidak dimanfaatkan dan tidak berdampak ekonomis dan lingkungan	Tidak ada kepentingan tertentu dan tidak berdampak	0,50

Sumber: Anonim (2010,p.13)

### 2.8.3 Prosedur Pembobotan dan Penentuan Prioritas

Penilaian kerusakan pantai dilakukan dengan menilai tingkat kerusakan pada suatu lokasi pantai terpilih terkait dengan masalah erosi atau abrasi, kerusakan lingkungan, dan atau sedimen yang ada. Kemudian nilai bobot tersebut dikalikan dengan koefisien pengali berdasar tingkat kepentingan kawasan tersebut. Bobot akhir adalah hasil pengali antara bobot tingkat kerusakan pantai dengan koefisien bobot tingkat kepentingan. Berikut adalah prosedur penilaian kerusakan pantai (Anonim, 2010,p.13) :

1. Penilaian kerusakan pantai dilakukan pada lokasi (kawasan) terjadinya kerusakan.

2. Penilaian kerusakan pada suatu lokasi dilakukan secara terpisah dengan lokasi yang lain. Apabila satu lokasi terjadi beberapa jenis kerusakan maka penilaian dilakukan pada kasus kerusakan pantai yang terberat terjadi di lokasi tersebut.
3. Khusus untuk penilaian kerusakan lingkungan harus dilakukan sangat hati-hati terutama terkait keberadaan bangunan dan fasilitas di sempadan pantai, karena persepsi masyarakat sangat beragam (misal : hotel di sempadan pantai, lokasi rekreasi di sempadan pantai, tempat ibadah berada di sempadan pantai)
4. Penilaian kerusakan pada suatu kawasan pantai yang cukup luas dapat dilakukan dengan membagi kawasan tersebut menjadi beberapa lokasi sesuai keperluan.

Penentuan urutan prioritas penanganan berdasarkan data dari peninjauan lapangan dan analisis sensitivitas maka prioritas penanganan pantai dapat dikelompokkan menjadi :

1. Prioritas A (amat sangat diutamakan – darurat) : bobot  $> 300$
2. Prioritas B (sangat diutamakan) : bobot  $226 - 300$
3. Prioritas C (diutamakan) : bobot  $151 - 225$
4. Prioritas D (kurang diutamakan) : bobot  $76 - 150$
5. Prioritas E (tidak diutamakan) : bobot  $< 75$

## 2.9 Bangunan Pengaman Pantai

Alam pada umumnya telah menyediakan mekanisme perlindungan atau pengaman pantai secara alamiah yang efektif (Yuwono, 1992,p.IV-2), yaitu :

1. Pantai pasir.

Lindungan alamiah berupa hamparan pasir yang dapat berfungsi sebagai penghancur energi gelombang yang efektif, serta bukit pasir (*sand dunes*) yang merupakan cadangan pasir dan berfungsi sebagai tembok.

2. Pantai lumpur.

Alam menyediakan tumbuhan pantai seperti pohon bakau, pohon api-api ataupun pohon nipah sebagai pelindung pantai. Tumbuhan pantai ini akan memecahkan energi gelombang dan memacu pertumbuhan pantai. Gerakan air yang lambat di antara akar-akar pohon tersebut di atas dapat mendukung proses pengendapan dan merupakan tempat yang baik untuk berkembang biaknya kehidupan laut.

Perlindungan buatan dibuat apabila lindungan dan pengaman alamiah tidak ada atau sudah tidak efektif karena rusak. Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yaitu (Triatmodjo, 2008,p.201) :

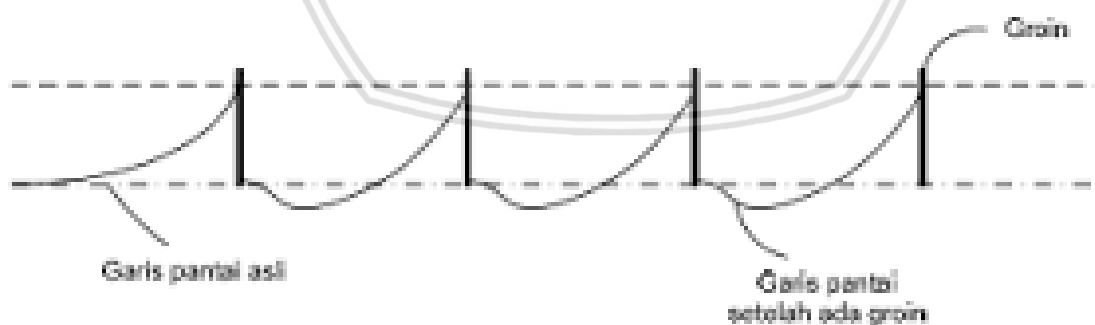


1. Memperkuat/ melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang
2. Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai
3. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai
4. Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain

Bentuk konservasi pantai dengan cara pembuatan struktur pengaman pantai buatan adalah dengan *hard structure* dan *soft structure*. *Hard structure* di desain dengan kondisi yang stabil dan tetap, menahan ombak, arus dan transport sedimen secara penuh. Oleh karena itu, *hard structure* memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap perpindahan pasir atau sedimentasi secara alami. Sedangkan alternatif pemakaian *soft structure* diharapkan merupakan struktur yang dapat bergerak dinamis, seiring dengan kondisi ombak dan arus. Seperti contoh di atas, yang termasuk dalam *hard structure* adalah groin, *revetment*, dan *breakwaters*. Sedangkan *soft structure* adalah *beach nourishment* dan penghijauan daerah pantai untuk meningkatkan stabilitas pantai.

### 2.9.1 Groin

Groin adalah bangunan yang menjorok dari pantai ke arah laut, yang digunakan untuk menangkap/menahan gerak sedimen sepanjang pantai, sehingga transpor sedimen sepanjang pantai berkurang/berhenti. Perlindungan pantai dengan menggunakan satu buah groin tidak efektif. Biasanya perlindungan pantai dilakukan dengan membuat suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa groin yang ditempatkan dengan jarak tertentu (Gambar 2.21). Dengan menggunakan satu sistem groin perubahan garis pantai yang terjadi tidak terlalu besar (Triatmodjo, 2008,p.202).

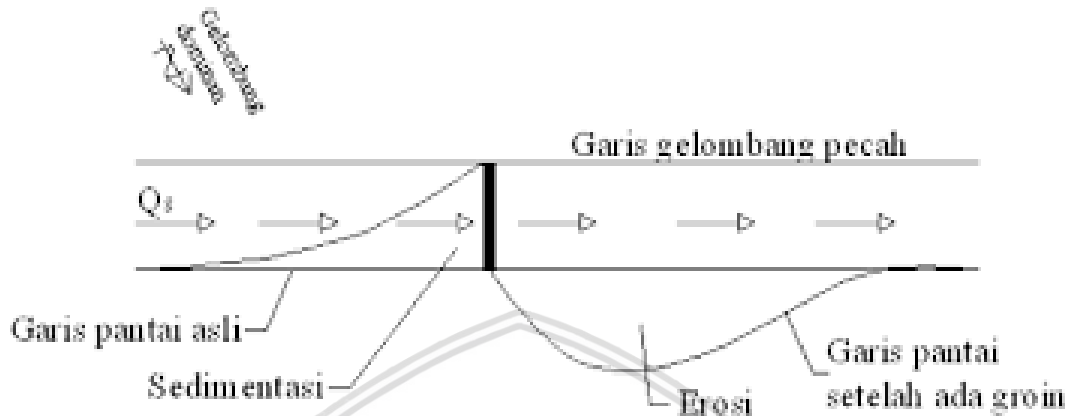


Gambar 2.18 Seri Groin dan Perubahan Garis Pantai yang ditimbulkan  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.214)

Groin hanya bisa menahan transpor sedimen sepanjang pantai. Seperti terlihat dalam Gambar 2.21, di sepanjang pantai terjadi transpor sedimen sepanjang pantai. Groin yang ditempatkan di pantai akan menahan gerak sedimen tersebut, sehingga sedimen mengendap di sisi sebelah hulu. Di sebelah hilir groin angkutan sedimen masih tetap



terjadi, sementara suplai dari sebelah hulu terhalang oleh bangunan, akibatnya daerah di hilir groin mengalami defisit sedimen sehingga pantai mengalami erosi. Keadaan tersebut menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai yang akan terus berlangsung sampai dicapai suatu keseimbangan baru.



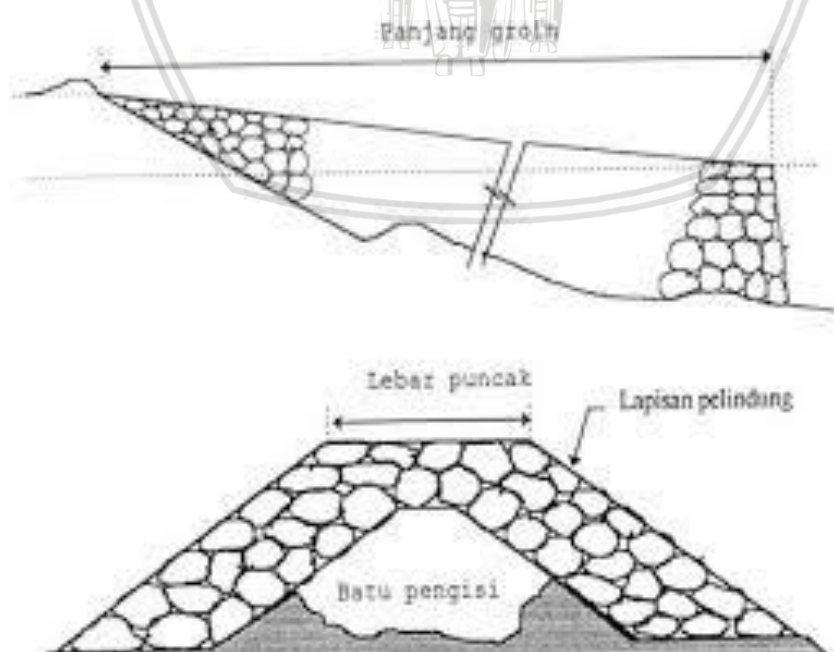
Gambar. 2.19 Groin Tunggal dan Perubahan Garis Pantai yang ditimbulkan  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.213)

Interaksi antara proses-proses pantai menggunakan sistem groin sedikit rumit, sehingga terdapat beberapa prinsip dasar yang sebaiknya diterapkan dalam perencanaan groin yaitu:

1. Groin hanya dapat digunakan untuk menghentikan *longshore transport* dan tidak menghentikan *onshore-offshore transport*.
2. Pembentukan pantai di dekat groin tergantung dari besar dan arah *longshore transport*. Arah tersebut tergantung dari sudut datang gelombang. Apabila arah datang gelombang normal terhadap garis pantai maka *longshore transport* akan sama dengan nol. Jadi cara groin mengurangi *longshore transport* adalah dengan membiarkan garis pantai berorientasi normal terhadap arah datang gelombang sehingga *longshore transport* sama dengan nol.
3. Akumulasi groin terhadap *longshore drift* memodifikasi profil pantai yang kemudian berusaha menata kembali bentuk alami pantainya.
4. Arah yang didorong oleh gelombang ke arah groin kadang-kadang berbalik ke laut dalam bentuk arus balik (*rip current*) sepanjang sisi groin. Dengan cara ini groin dapat menambah jumlah sedimen yang bergerak ke laut.
5. Prosentase *longshore transport* yang melewati groin tergantung pada ukuran groin, ukuran fillet, water level, dan kondisi gelombang.
6. *Longshore drift* yang terjadi pada fillet atas dicegah agar tidak mencapai fillet bawah dimana keseimbangan pasir lemah (tidak terlalu baik).

Transpor sedimen sepanjang pantai terjadi di *surf zone*, groin akan efektif menahan sedimen apabila bangunan tersebut menutup seluruh lebar *surf zone*, dengan kata lain panjang groin sama dengan lebar *surf zone*. Tetapi bangunan seperti itu dapat mengakibatkan suplai sedimen ke daerah hilir terhenti sehingga mengakibatkan erosi yang besar di daerah tersebut. Garis pantai di sebelah hulu dan hilir bangunan berubah secara mendadak dengan perubahan yang sangat besar. Oleh karena itu sebaiknya masih dimungkinkan terjadinya suplai sedimen ke daerah hilir, yaitu dengan membuat groin yang tidak terlalu panjang dan tinggi. Pada umumnya panjang groin adalah 40 sampai 60 persen dari lebar rerata *surf zone*, dan jarak antara groin adalah antara satu dan tiga kali panjang groin (Triatmodjo, 2008,p.213).

Didalam perencanaan groin masih dimungkinkan terjadinya suplai pasir melewati groin ke daerah hilir. Pasir dapat melintasi groin dengan melewati sisi atasnya (*overpassing*) atau melewati ujungnya (*endpassing*). *Overpassing* tergantung pada elevasi pasir di sekitar groin dan elevasi puncak groin. Apabila elevasi pasir terlalu rendah terhadap puncak groin, transpor pasir sepanjang pantai tidak bisa melompati groin, dan pasir akan terkumpul di hulu groin sehingga elevasi pasir bertambah sampai akhirnya pasir akan melompati groin. Proses terjadinya *endpassing* adalah serupa dengan *overpassing*, hanya faktor pengontrolnya adalah pertumbuhan endapan pasir ke arah laut (Triatmodjo, 2008,p.218).



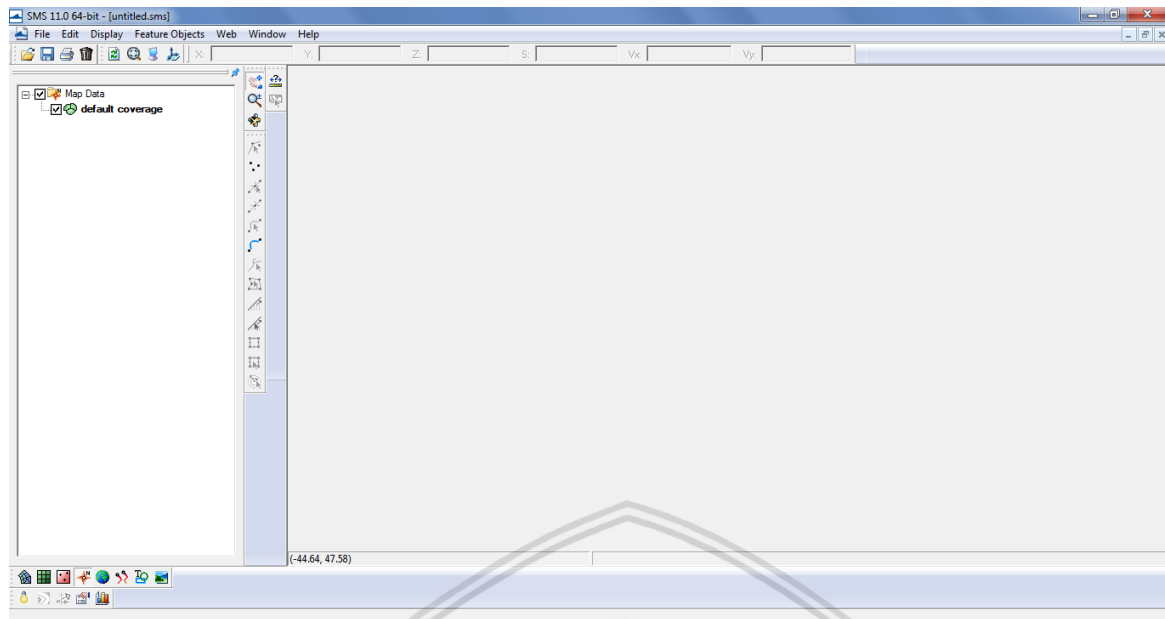
Gambar 2.20 Groin dari Tumpukan Batu  
Sumber: Triatmodjo (2008,p.220)

Elevasi puncak sepanjang groin dapat dibuat horisontal atau menurun ke arah laut, yang tergantung pada fungsi (pasir dimungkinkan melompati groin atau tidak) dan pertimbangan biaya. Untuk merencanakan elevasi puncak yang menurun ke arah laut, groin dibagi menjadi tiga ruas yaitu ruas horisontal (RH), ruas miring (RM), dan ruas luar (RL). Ruas horisontal dibuat masuk ke daratan untuk mengangker groin. Tinggi RH tergantung pada tingkat limpasan (*overpassing*) pasir yang diijinkan. Biasanya tinggi ruas ini ditetapkan sama dengan tinggi berm. Tinggi maksimum groin untuk menahan semua pasir mencapai daerah tersebut adalah tinggi air maksimum dan *uprush* gelombang maksimum yang ditimbulkan oleh gelombang besar. Ruas miring terbentang antara ruas horisontal dan ruas luar. Bagian ini dapat dibuat kira-kira sejajar dengan kemiringan daerah *foreshore*. Ruas luar meliputi bagian groin yang menjorok ke arah laut dari ruas miring. Biasanya ruas ini adalah horisontal dengan elevasi cukup rendah, yaitu pada *MLWL* atau *LLWL* (Triatmodjo, 2008,p.220)

## **2.10 Software SMS**

### **2.10.1 Gambaran Umum SMS**

*Software SMS (Surface-water Modelling System)* merupakan *software* buatan Aquaveo, LLC yang memiliki antarmuka pengguna grafis (*GUI/ Graphical User Interface*) dan *tool* analisis yang memungkinkan insinyur dan ilmuwan untuk memvisualkan, memanipulasi, menganalisis, dan memahami data numeris dan pengukuran terkait. Banyak *tool* di *SMS* umum dipakai dan didesain untuk memfasilitasi pembuatan dan operasi dari model-model numeris dari sungai, pantai, *inlet*, teluk, muara, dan danau. *Software* ini mengintegrasikan dan menyederhanakan proses hidraulik dan pemodelan pantai termasuk sirkulasi arus, transformasi gelombang, dan transpor sedimen yang dikombinasikan dengan beragam model yang ada di dalam paket *software SMS 11.0*. Model-model yang ada dalam *SMS* adalah sebagai berikut: *ADCIRC, BOUSS-2D, CGWAVE, CMS-FLOW, CMS-WAVE, FESWMS, FVCOM, Generic Mesh Model, GENESIS, HYDRO AS-2D, PTM, SRH-2D, RMA2, RMA4, STWAVE, TUFLOW 1D/2D*. Model-model tersebut di atas mampu memodelkan berbagai macam kondisi air dari sungai sampai laut. Keuntungan menggunakan *SMS* adalah kemampuan integrasi antar model (*steering model*). Sehingga pengguna bisa melakukan analisis antar model dengan *domain* yang sama. Selain itu, dengan fleksibilitas antar model di *SMS* pengguna bisa menggunakan keluaran dari model A sebagai masukan di model B tanpa perlu membuat domain baru.



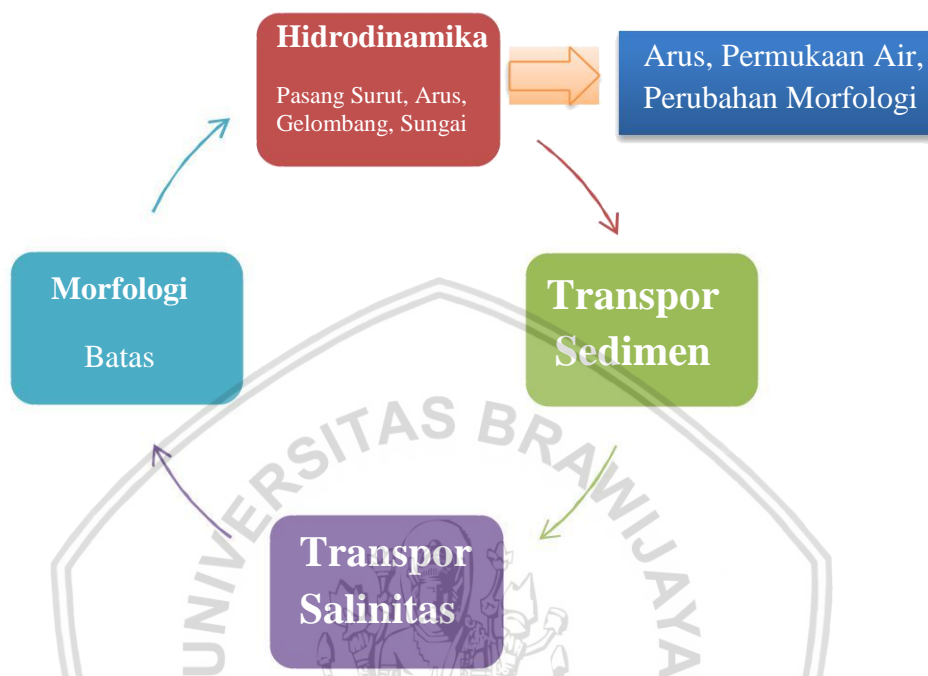
Gambar 2.21 Tampilan awal *Software SMS 11.0* saat dibuka  
Sumber: Hasil Pemodelan

### 2.10.2 CMS- FLOW

*Coastal Modeling System (CMS)* adalah sistem pemodelan numerik yang terintegrasi untuk simulasi gelombang dekat pantai, arus, tingkat air, transportasi sedimen dan perubahan morfologi. Sistem ini dikembangkan dan terus didukung oleh *US Army Corps of Engineers (USACE)* di bawah *Coastal Inlets Research Program (CIRP)*. *CMS* dirancang untuk inlet pesisir dan aplikasi navigasi termasuk kinerja saluran dan pertukaran sedimen antara inlet dan pantai yang berdekatan. *CMS* dimaksudkan sebagai alat penelitian dan rekayasa yang dapat dioperasikan oleh pemula dan modeler berpengalaman pada komputer desktop dan dapat juga menjalankan dalam model paralel menggunakan *OpenMP*. *CMS* merupakan *interface* dari *Surface-water Modeling System (SMS)* untuk generasi jaringan dan model pengaturan serta untuk merencanakan proses akhir. Program ini adalah sebuah proses-berdasarkan dari model-model yang mengintegrasikan hidrodinamika, transportasi sedimen dan perubahan morfologi melalui perpaduan antara dua modul yaitu *CMS-Wave* dan *CMS-Flow*.

*CMS-Flow* adalah volume terbatas, dua dimensi (2D) kedalaman rata-rata model sirkulasi dekat pantai. *CMS-Flow* digunakan untuk menghitung arus dan tingkatan air termasuk proses fisik seperti adveksi, pencampuran turbulent, dikombinasikan gelombang-saat bawah gesekan; angin, gelombang, sungai, dan pasang surut; kekuatan coriolis; dan pengaruh struktur pantai. Memiliki solusi implisit menggunakan algoritma SIMPLEC pada grid yang bisa berubah-ubah untuk menangani tingkatan air pada kecepatan tinggi.

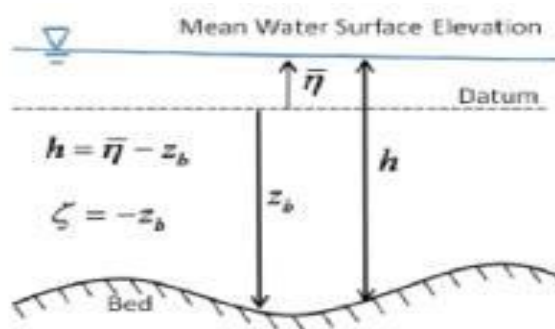
Variabel utama  $U$ ,  $v$ -kecepatan, dan ketinggian air yang disimpan di set yang sama poin grid, dan fluks di wajah sel ditentukan menggunakan jenis metode interpolasi momentum. *CMS-Flow* juga menghitung salinitas, transportasi sedimen, dan perubahan morfologi. Kerangka dari *CMS-FLOW* dapat dilihat pada Gambar. 2.25 (Beselly, 2013,p.16).



Gambar. 2.22 Kerangka *CMS-FLOW* dan Bagiannya  
Sumber: Beselly (2013,p.17)

### 2.10.3 Hidrodinamika

Dalam CMS, variabelnya didefinisikan secara spasial dalam sistem koordinat cartesius,  $x_i = \vec{x} = (x, y, z)$ , dimana  $x$  dan  $y$  adalah koordinat horisontal, dan  $z$  adalah koordinat vertikal (yang positif dan bergerak ke atas). Dalam Gambar 2.26, ditunjukkan skema variabel dengan arah vertikal. Datum koordinat vertikal adalah *still water level (SWL)* atau level air tenang, sedangkan *bed elevation*,  $z_b$ , atau elevasi dasar diukur dari datum vertikal.



Gambar 2.23 Konvensi Vertikal yang digunakan untuk Elevasi Dasar-Perairan dan Elevasi Permukaan Air Rata-Rata  
Sumber: Beselly (2013,p.17)



### 2.10.3.1 Kekasaran Dasar Perairan

Kekasaran dasar-perairan dijelaskan dengan hitungan hidrodinamis dengan koefisien kekasaran Manning  $n$ , tinggi kekasaran Nikuradse  $k_s$ , atau koefisien friksi dasar-perairan  $c_b$ . Kekasaran dasar-perairan diasumsikan konstan seiring waktu dan tidak berubah meski ada perubahan dalam komposisi dan bentuk dasar-perairan. Koefisien friksi dasar-perairan  $c_b$  berhubungan dengan koefisien kekasaran Manning  $n$ , yang ditunjukkan oleh:

$$c_b = gn^2 h^{-1/3} \quad (2-47)$$

Stress sesar dasar-perairan terkait-arus ditunjukkan oleh

$$\tau_{ci} = \rho c_b U U_i \quad (2-48)$$

dengan:

$\rho$  = kepadatan air (1025 kg/m<sup>3</sup>)

$c_b$  = koefisien friksi dasar-perairan

$U$  = magnitudo arus =  $\sqrt{U_i U_j}$  (m/det)

Magnitudo stress sesar dasar-perairan terkait-arus adalah

$$\tau_c = \rho c_b U^2 \quad (2-49)$$

Amplitudo stress sesar dasar-perairan terkait-gelombang adalah

$$\tau_c = \frac{1}{2} \rho f_w u_w^2 \quad (2-50)$$

dengan  $f_w$  adalah faktor friksi gelombang yang diestimasi dengan

$$f_w = 0,237 Y^{-0,52} \quad (2-51)$$

dengan:

$Y = A_w / k_{sg}$  = kekasaran relatif

$k_{sg} = 2,5 d_{50}$

$A_w = u_w T / (2 \pi)$  = ekskursi semi-orbital

Dalam kombinasi gelombang dan arus, stress sesar dasar-perairan rata-rata (berdasarkan rata-rata gelombang) menjadi lebih besar dibanding di situasi arus saja. Di dalam CMS, stress sesar dasar-perairan rata-rata, yaitu  $\tau_{bi}$  (berdasarkan rata-rata gelombang pendek), adalah:

$$\tau_{bi} = \lambda_{WC} \tau_{ci} \quad (2-52)$$

dengan:

$$\lambda_{wc} = \frac{\sqrt{U^2 + c_w u_w^2}}{U} = \text{faktor perluasan friksi dasar-perairan non-linear } (\lambda_{wc} \geq 1)$$

$\tau_{ci}$  = stress sesar dasar-perairan terkait-arus (Pa)

$c_w$  = koefisien empiris (1,33 untuk gelombang rutin dan 0,65 untuk gelombang random)

$u_w$  = amplitudo kecepatan orbit gelombang dasar-perairan, yang didasarkan pada teori gelombang linear, di situasi gelombang random  $u_w = u_{ws}$ .

### 2.10.3.2 Kekentalan Pusaran

Kekentalan pusaran berasal dari fakta bahwa vorteks atau pusaran (eddy) skala kecil di sebuah kerangka berisi ukuran sel grid tidak pernah bisa diuraikan, dan hanya aliran skala-besar yang bisa disimulasikan. Kekentalan pusaran dimaksudkan untuk mensimulasikan penguraian energi ke skala yang lebih kecil daripada yang bisa disimulasikan model. Dalam lingkungan dekat pantai, miksing besar atau turbulensi terjadi karena gelombang, angin, sesar dasar-perairan, dan gradien horisontal kuat.

### 2.10.3.3 Tekanan Radiasi Gelombang

Tekanan radiasi gelombang,  $S_{ij}$  dihitung dengan teori gelombang linear, yaitu:

$$S_{ij} = ff E_w(f, \theta) \left[ n_g w_i w_j + \delta_{ij} \left( n_g - \frac{1}{2} \right) \right] df d\theta \quad (2-53)$$

dengan:

$f$  = frekuensi gelombang (1/det)

$\theta$  = arah gelombang (rad)

$E_w$  = energi gelombang =  $\frac{1}{16} \rho g H_s^2$  (N/m)

$H_s$  = tinggi gelombang signifikan (m)

$w_i$  = vektor unit gelombang =  $(\cos\theta, \sin\theta)$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{atau } i = j \\ 0 & \text{atau } i \neq j \end{cases}$$

$$n_g = \frac{c_g}{c} = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right)$$

$c_g$  = kecepatan kelompok gelombang (m/det)

$c$  = seleritas gelombang (m/det)

$k$  = jumlah gelombang (rad/m)

### 2.10.3.4 Tekanan Permukaan Angin

Tekanan permukaan angin dihitung sebagai berikut:

$$\tau_{si} = \rho_a c_D W W_i \quad (2-54)$$

dengan:

$\rho_a$  = kepadatan air di level laut ( $1,2 \text{ kg/m}^3$ )

$c_D$  = koefisien tarikan angin

$W_i$  = kecepatan angin 10-m (m/det)

$W$  = magnitudo kecepatan angin 10-m =  $\sqrt{W_i W_j}$  (m/det)

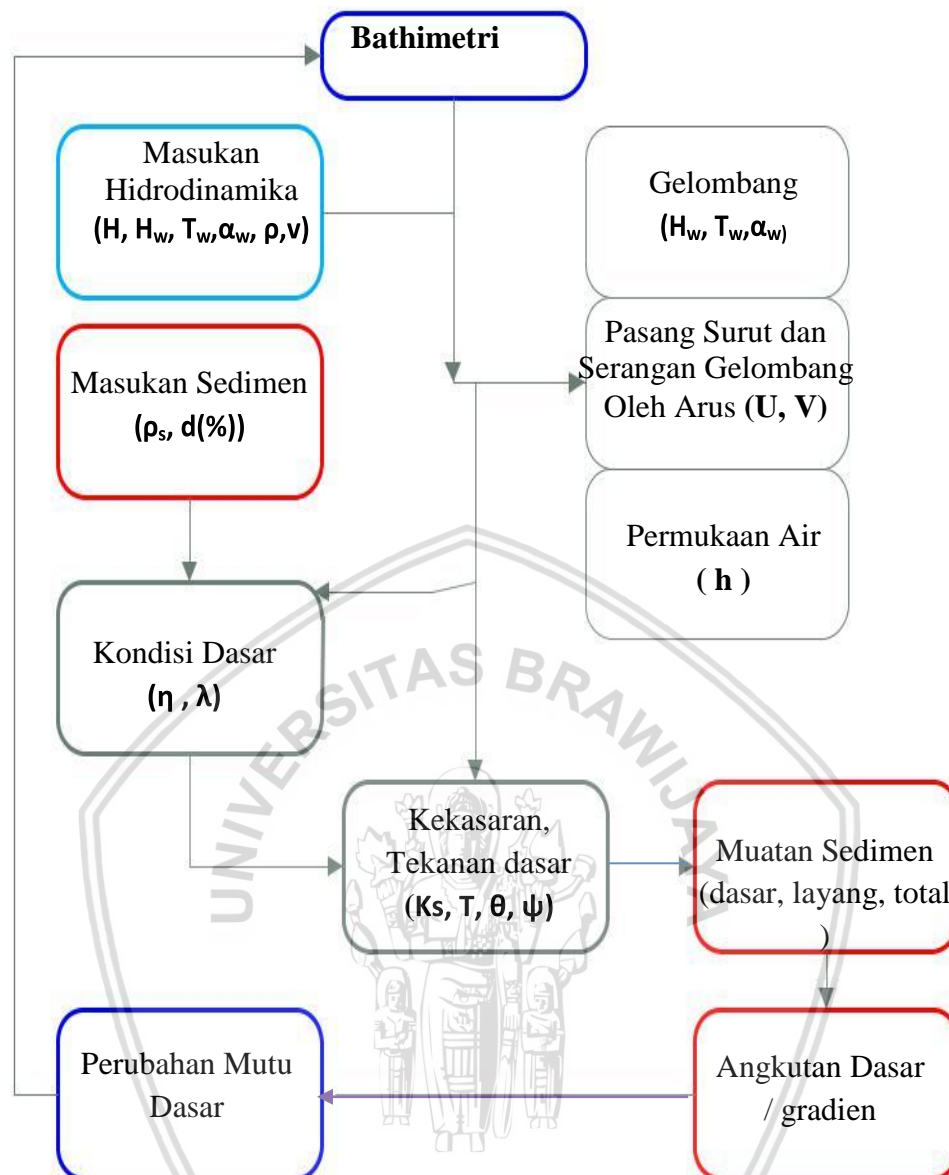
#### 2.10.3.5 Kondisi Batas

Kondisi batas dinding (tertutup) adalah batas tertutup, dan ini diterapkan di berbagai muka sel antara sel basah dan sel kering. Sel batas yang tidak diterapkan di tepi domain model diasumsikan tertutup, dan karena itu, dinyatakan sebagai batas dinding. Kondisi fluks normal nol batasan diterapkan di batas tertutup. Ada dua kondisi yang dialami batasan dengan keberadaan aliran tangensial:

1. Free-slip = tidak ada stress sesar tangensial (friksi dinding).
2. Partial-slip = stress sesar parsial (friksi dinding) yang dihitung berdasarkan hukum log.

#### 2.10.4 Proses Pengangkutan Sedimen dan Modelnya

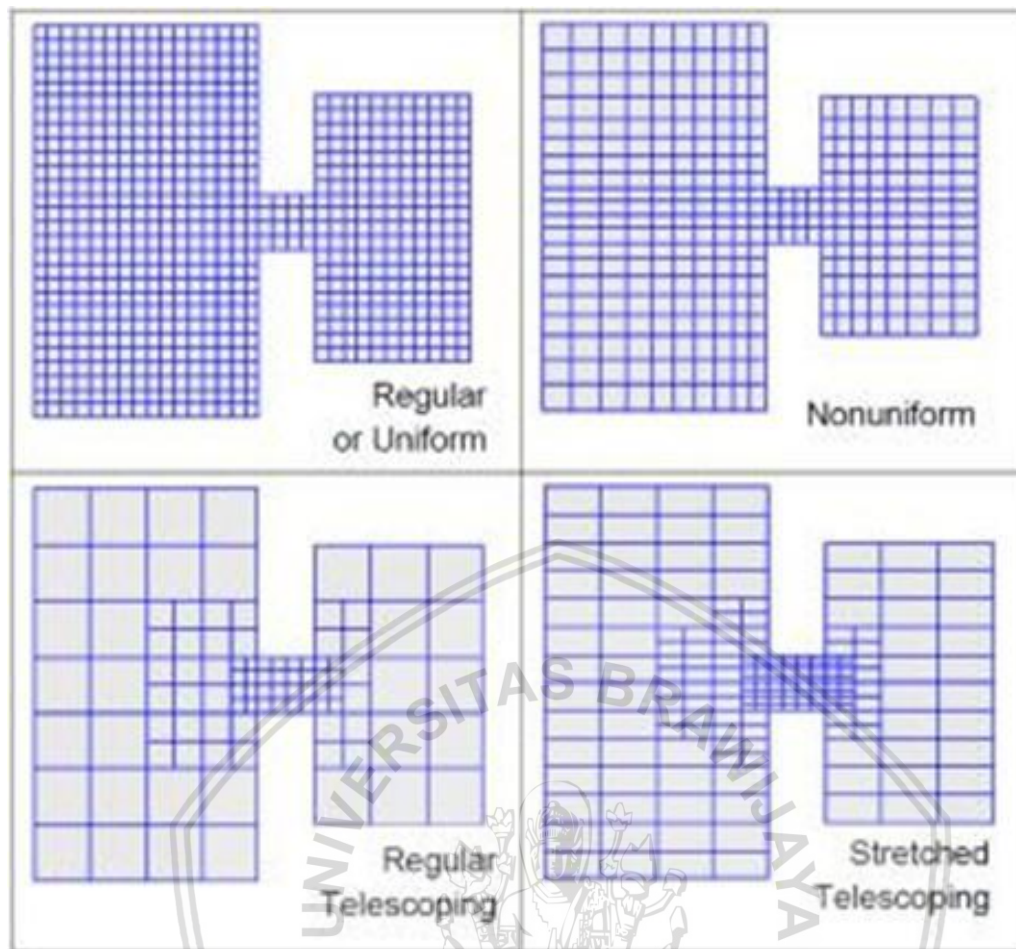
Dalam penjelasan ini akan didiskusikan konsep dan rumus proses pengangkutan sedimen di dalam model CMS. Salah satu tujuan penelitian gelombang dan fenomena resultannya di wilayah dekat pantai adalah untuk memprediksi deformasi pantai yang disebabkan oleh gerakan sedimen. Mendeskripsikan lingkungan pesisir di sebuah area inlet berisi berbagai tipe gaya hidrodinamis, dimana gelombang, pasang, angin, dan limpasan sungai adalah faktor yang paling berpengaruh dalam menggerakkan aliran air dan pengangkutan sedimen. Selain gerakan oskilasi, gelombang memicu terjadinya arus rata-rata di dalam zona selancar (arus panjang, arus sobekan, dsb), lalu mengaduk dan menahan sedimen dalam bentuk suspensi lewat proses penguraian, dan menyebabkan gerakan deburan dan membawa sedimen ke daratan. Angin dan pasang menghasilkan pola sirkulasi rata-rata yang membawa sedimen ke tepi teluk, dan di sekitar kawasan leher inlet, keluaran sungai juga menghasilkan arus yang juga mengangkut sedimen. Gaya hidrodinamis yang mengangkut sedimen adalah arus rata-rata, yang biasanya berupa arus panjang yang dipicu gelombang, dan arus pasang (Beselly, 2013,p.24). Gambar 2.27 adalah bagan alir dari formulasi pengangkutan sedimen.



Gambar 2.24 Bagan Alir Formulasi Pengangkutan Sedimen  
Sumber: Beselly (2013,p.24)

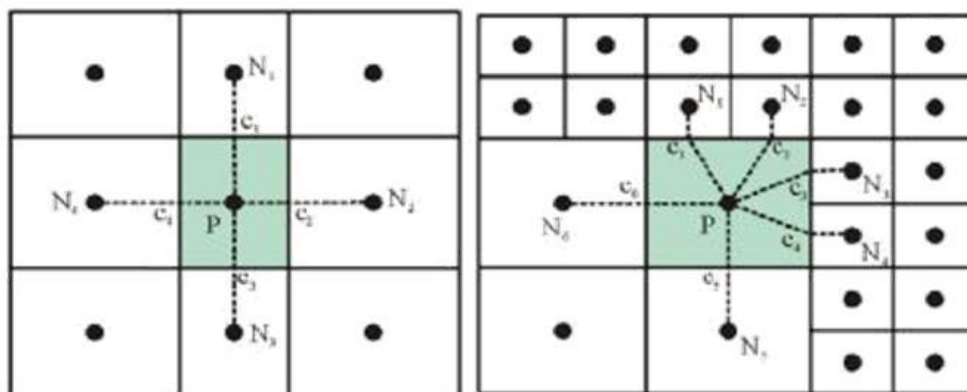
### 2.10.5 Grid Hitung

Karena kompleksitas domain hitung di dekat area inlet, maka struktur simpel seperti mesh persegi membutuhkan banyak sel untuk menguraikan pola alir detail dekat inlet, saluran navigasi, dan struktur in-stream. Untuk mengoptimalkan penggunaan sumberdaya hitungan, CMS menggunakan mesh persegi quadtree level-multipel dengan perbaikan lokal. Dalam mesh tersebut, berbagai level sel halus ditempatkan di dekat saluran navigasi dan struktur in-stream dimana gradien alirnya cenderung tinggi, sementara grid kasar digunakan di area bergradien rendah (Wu dkk, 2011). Grid CMS-Flow yang terbentuk lewat interface SMS bisa diklasifikasikan sebagai grid seragam dan non-seragam, kartesian grid, grid teleskopik reguler, dan grid teleskopik rentangan (Beselly, 2013,p.35).



Gambar 2.25 Tipe Grid Cartes yang didukung oleh Interface *SMS* dan *CMS-Flow*  
 Sumber: Beselly (2013,p.35)

Pendekatan grid berbasis lokasi (non-staggered, located) digunakan di dalam CMS-Flow. Cara tersebut juga menggunakan teknik interpolasi momentum yang dijalankan Rhie dan Chow (1983), dan maksud penggunaannya adalah untuk menghapus oskilasi papan ceker. Gambar 2.29 memperlihatkan lokasi variabel primier di titik stensil 5 dan 7 (molekul hitung) (Beselly, 2013,p.36).



Gambar 2.26 Stensil Hitung dan Volume Kontrol dari Dua Tipe Grid Cartes: Grid Cartes Non-Seragam (Kiri) dan Grid Teleskop (Kanan).  
 Sumber: Beselly (2013,p.36)



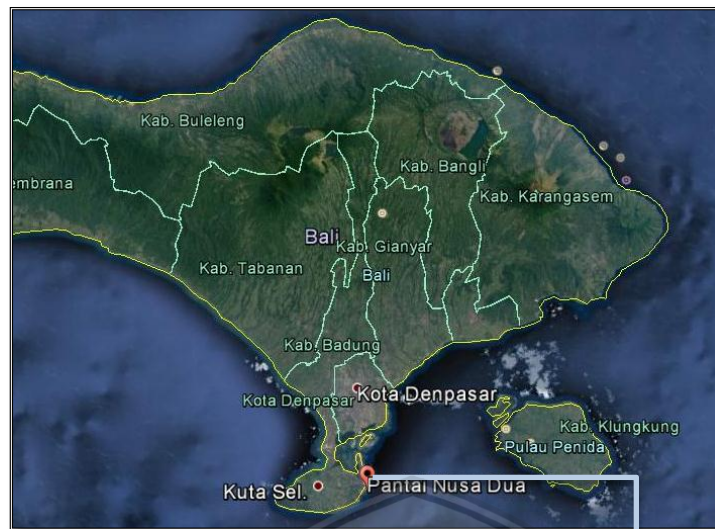
### BAB III METODOLOGI

#### 3.1 Lokasi Daerah Studi

Studi ini merupakan simulasi dari bangunan pantai Nusa Dua, Bali untuk meramalkan pola garis pantai yang terjadi pada beberapa tahun kedepan. Pulau Bali adalah bagian dari Kepulauan Sunda Kecil memiliki panjang 153 km dan lebar 112 km sekitar 3,2 km dari Pulau Jawa. Kemiringan lahan Pulau Bali terdiri dari lahan datar (0-2%) seluas 122.652 ha, lahan bergelombang (2-15%) seluas 118.339 ha, lahan curam (15-40%) seluas 190.486 ha dan lahan sangat curam seluas 132.189 ha. Sedangkan lokasi studi berada pada kecamatan Kuta Selatan kawasan Pantai Nusa Dua sebelah tenggara pulau Bali, Indonesia. Kecamatan Kuta adalah sebuah kecamatan di Kabupaten Badung, Bali, Indonesia yang memiliki luas 17, 52 km<sup>2</sup> berjarak 40 km dari kota Denpasar ibukota provinsi Bali. Pantai Nusa Dua secara geografis terletak di 08°43'21,8" lintang selatan dan 115°10'10,8" bujur timur.

Batas-batas wilayah Kabupaten Badung :

1. Sebelah Utara : Kabupaten Buleleng
2. Sebelah Timur : Kabupaten Bangli, Kabupaten Gianyar, Kota Denpasar
3. Sebelah Selatan : Samudera Indonesia
4. Sebelah Barat : Kabupaten Tabanan

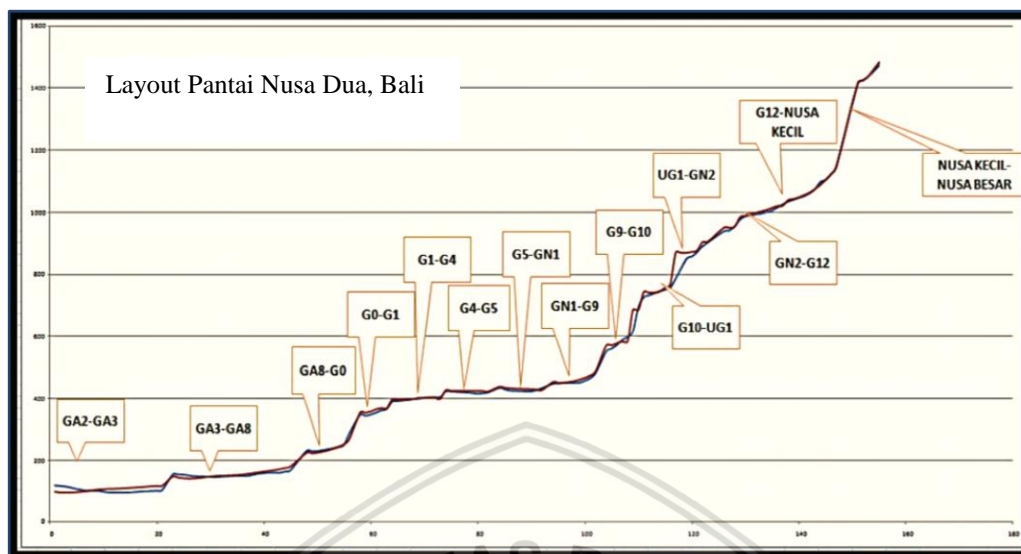


Gambar 3.1 Peta Lokasi Pantai Nusa Dua, Bali  
Sumber: Google Earth (2017)

Pantai Nusa Dua merupakan pantai yang sangat terkenal di Indonesia dan di seluruh dunia. Pantai ini merupakan salah satu tujuan wisata baik turis dalam negeri maupun luar negeri karena memiliki ombak yang cukup bagus dengan polesan pasir putih dan kontur pantai yang landai. Kawasan pantai Nusa Dua yang tidak pernah sepi ini sehingga dimanfaatkan oleh kebanyakan orang sebagai roda perekonomian. Di sepanjang jalan tepi pantai berjejer hotel-hotel bintang lima dengan tingkat hunian yang padat dan beragam industri pernak-pernik wisata.

Kawasan pantai Nusa Dua merupakan kawasan yang rawan terhadap terjadinya erosi. Untuk menghindari terjadinya perubahan pola garis pantai yang signifikan, maka pada pantai sepanjang 3,368 km ini dibuat satu segmen groin. Segmen groin tersebut dimulai

dari Nusa Kecil (G12) hingga Teluk Benoa (GA2). Gambar 3.2 menunjukkan layout adaptasi penanganan pantai Nusa Dua, Bali.


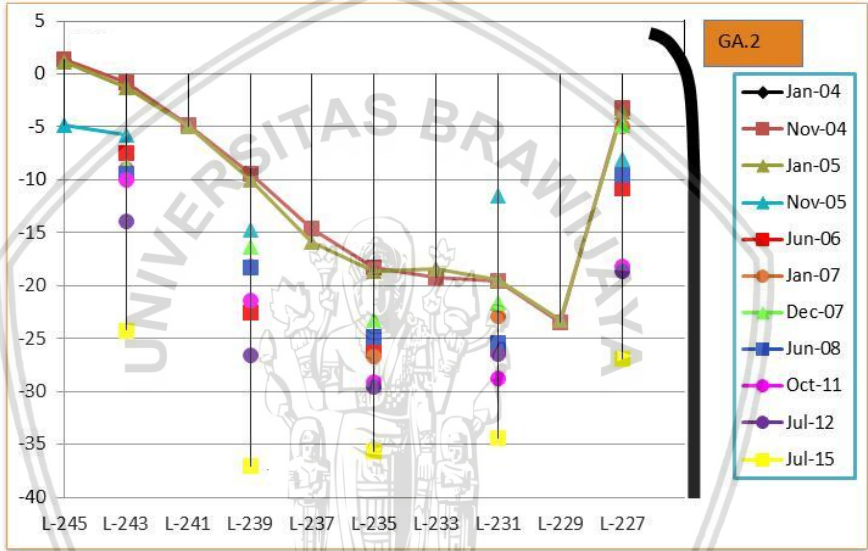



Gambar 3.2 Layout adaptasi penanganan pantai Nusa Dua, Bali  
Sumber: Hasil Monitoring

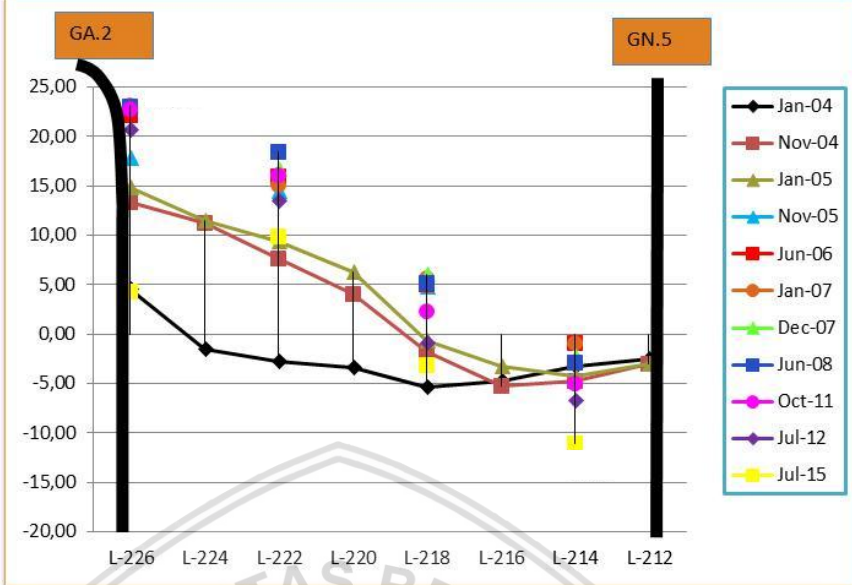

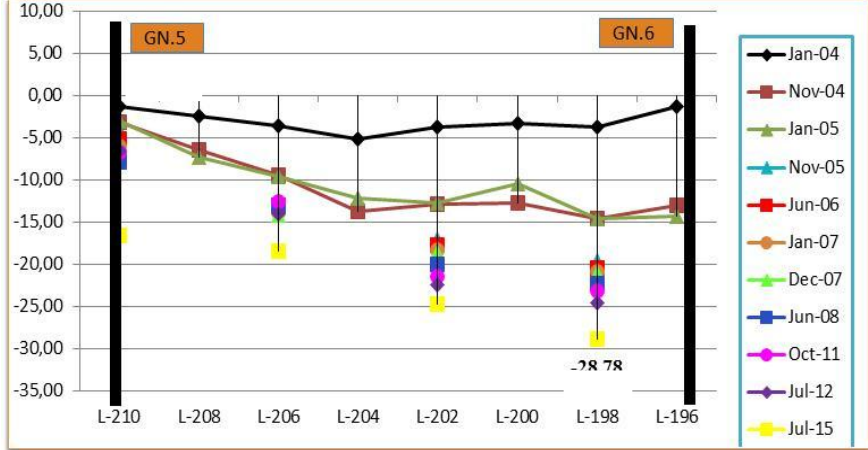
Monitoring perubahan garis pantai dilakukan untuk mengevaluasi perubahan garis pantai akibat bangunan pengaman pantai setelah dilakukan penanganan. Hasil dari monitoring dapat memberikan gambaran kondisi garis pantai pada tiap-tiap segmen groin. Monitoring pemantauan terjadinya perubahan garis pantai dilakukan minimal satu kali dalam satu tahun. Monitoring perubahan garis pantai dapat dilihat pada Tabel 3.1.



Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali



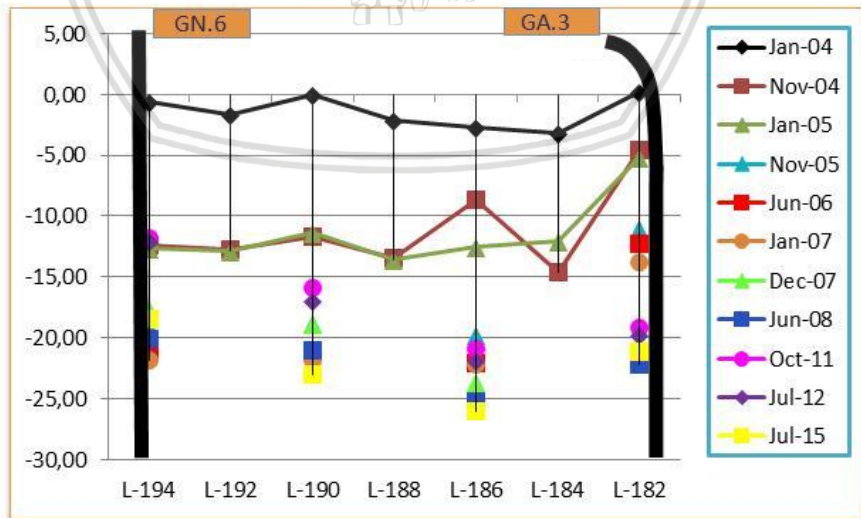
No	Pias
1	<p data-bbox="836 309 906 347"><b>GA.2</b></p> <div data-bbox="277 378 1471 707">  </div> <div data-bbox="434 745 1305 1294">  </div>
2	<p data-bbox="751 1377 922 1415"><b>GA.2 - GN.5</b></p> <div data-bbox="316 1447 1423 1955">  </div>

Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali


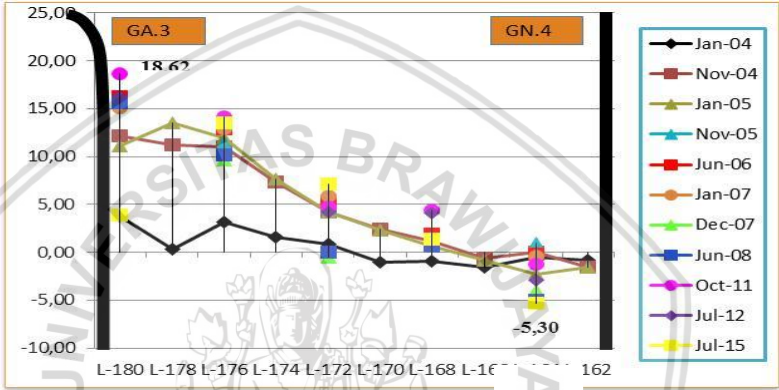

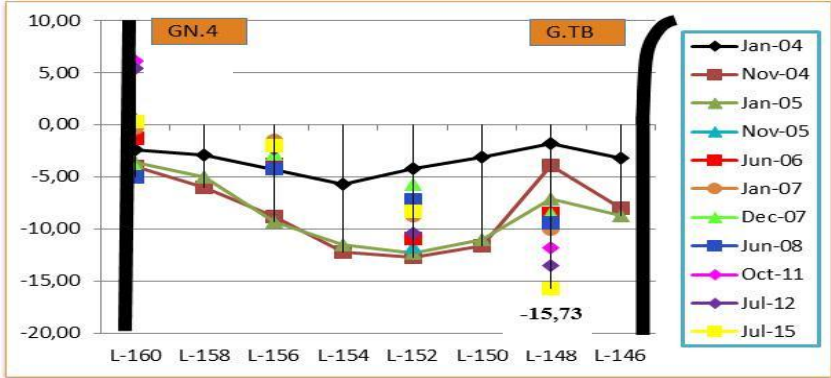
No	Pias
	<div><div>GA.2</div><div>GN.5</div></div>
3	<div><div>GN.5 – GN.6</div></div> <div><div>GN.5</div><div>GN.6</div></div>






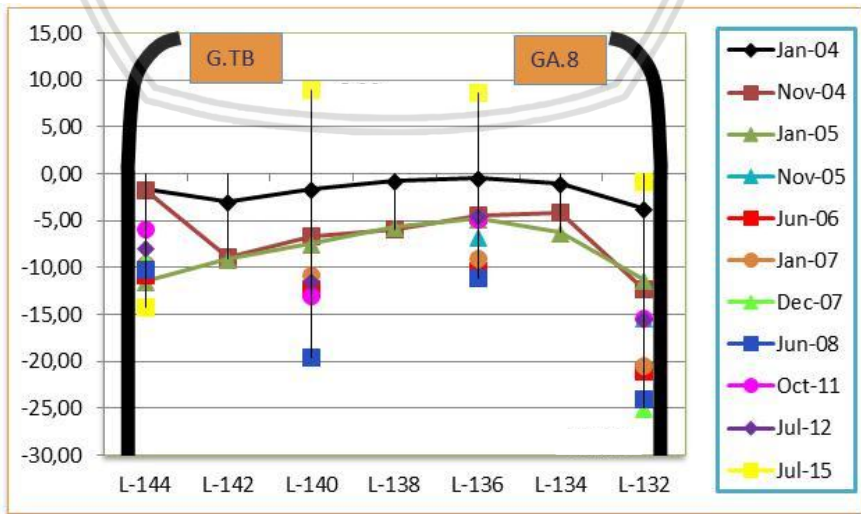
Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali

No	Pias																																																																																																
	<div>GN.6 - GA.3</div> <div></div> <div></div> <div><div><div>GN.6</div><div>GA.3</div></div><table><caption>Estimated Elevation Data (m) from Graph</caption><thead><tr><th>Date</th><th>L-194</th><th>L-192</th><th>L-190</th><th>L-188</th><th>L-186</th><th>L-184</th><th>L-182</th></tr></thead><tbody><tr><td>Jan-04</td><td>0.00</td><td>-1.00</td><td>0.00</td><td>-2.00</td><td>-3.00</td><td>-3.00</td><td>0.00</td></tr><tr><td>Nov-04</td><td>-12.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-8.00</td><td>-15.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Jan-05</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Nov-05</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Jun-06</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-8.00</td><td>-15.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Jan-07</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Dec-07</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Jun-08</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Oct-11</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Jul-12</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr><tr><td>Jul-15</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-12.00</td><td>-14.00</td><td>-13.00</td><td>-13.00</td><td>-5.00</td></tr></tbody></table></div>	Date	L-194	L-192	L-190	L-188	L-186	L-184	L-182	Jan-04	0.00	-1.00	0.00	-2.00	-3.00	-3.00	0.00	Nov-04	-12.00	-13.00	-12.00	-14.00	-8.00	-15.00	-5.00	Jan-05	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Nov-05	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Jun-06	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-8.00	-15.00	-5.00	Jan-07	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Dec-07	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Jun-08	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Oct-11	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Jul-12	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00	Jul-15	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00
Date	L-194	L-192	L-190	L-188	L-186	L-184	L-182																																																																																										
Jan-04	0.00	-1.00	0.00	-2.00	-3.00	-3.00	0.00																																																																																										
Nov-04	-12.00	-13.00	-12.00	-14.00	-8.00	-15.00	-5.00																																																																																										
Jan-05	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Nov-05	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Jun-06	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-8.00	-15.00	-5.00																																																																																										
Jan-07	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Dec-07	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Jun-08	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Oct-11	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Jul-12	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										
Jul-15	-13.00	-13.00	-12.00	-14.00	-13.00	-13.00	-5.00																																																																																										

Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali


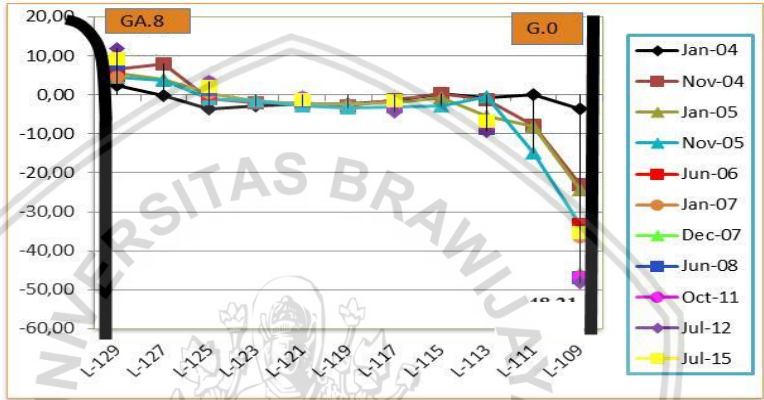

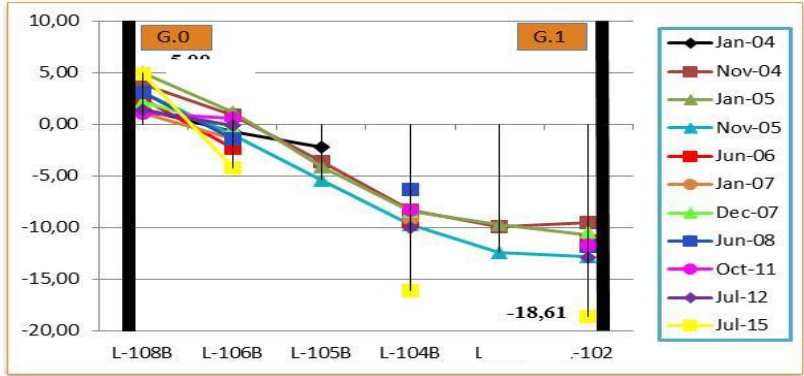
No	Pias
5	<div>GA.3 – GN.4</div> <div></div> <div></div>
6	<div>GN.4 – G.TB</div> <div></div> <div></div>

Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali


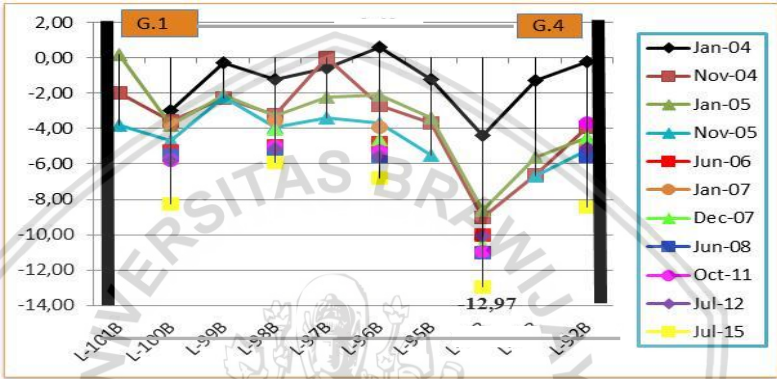


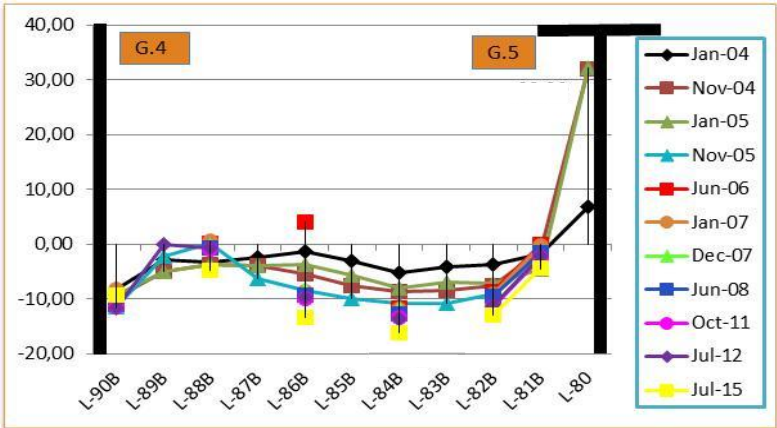
No	Pias																																																																																																
7	<div><div>G.TB – GA.8</div><div></div><div><table><thead><tr><th>Location</th><th>Jan-04</th><th>Nov-04</th><th>Jan-05</th><th>Nov-05</th><th>Jun-06</th><th>Jan-07</th><th>Dec-07</th><th>Jun-08</th><th>Oct-11</th><th>Jul-12</th><th>Jul-15</th></tr></thead><tbody><tr><td>L-144</td><td>-1,00</td><td>-1,00</td><td>-11,00</td><td>-11,00</td><td>-11,00</td><td>-11,00</td><td>-11,00</td><td>-11,00</td><td>-6,00</td><td>-8,00</td><td>-15,00</td></tr><tr><td>L-142</td><td>-3,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td><td>-9,00</td></tr><tr><td>L-140</td><td>-2,00</td><td>-7,00</td><td>-7,00</td><td>-7,00</td><td>-7,00</td><td>-7,00</td><td>-7,00</td><td>-20,00</td><td>-12,00</td><td>-12,00</td><td>9,00</td></tr><tr><td>L-138</td><td>-1,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td><td>-6,00</td></tr><tr><td>L-136</td><td>-1,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-12,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>9,00</td></tr><tr><td>L-134</td><td>-1,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td><td>-4,00</td></tr><tr><td>L-132</td><td>-4,00</td><td>-12,00</td><td>-12,00</td><td>-12,00</td><td>-12,00</td><td>-12,00</td><td>-12,00</td><td>-24,00</td><td>-15,00</td><td>-15,00</td><td>0,00</td></tr></tbody></table></div></div>	Location	Jan-04	Nov-04	Jan-05	Nov-05	Jun-06	Jan-07	Dec-07	Jun-08	Oct-11	Jul-12	Jul-15	L-144	-1,00	-1,00	-11,00	-11,00	-11,00	-11,00	-11,00	-11,00	-6,00	-8,00	-15,00	L-142	-3,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	L-140	-2,00	-7,00	-7,00	-7,00	-7,00	-7,00	-7,00	-20,00	-12,00	-12,00	9,00	L-138	-1,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	L-136	-1,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-12,00	-4,00	-4,00	9,00	L-134	-1,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	L-132	-4,00	-12,00	-12,00	-12,00	-12,00	-12,00	-12,00	-24,00	-15,00	-15,00	0,00
Location	Jan-04	Nov-04	Jan-05	Nov-05	Jun-06	Jan-07	Dec-07	Jun-08	Oct-11	Jul-12	Jul-15																																																																																						
L-144	-1,00	-1,00	-11,00	-11,00	-11,00	-11,00	-11,00	-11,00	-6,00	-8,00	-15,00																																																																																						
L-142	-3,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00	-9,00																																																																																						
L-140	-2,00	-7,00	-7,00	-7,00	-7,00	-7,00	-7,00	-20,00	-12,00	-12,00	9,00																																																																																						
L-138	-1,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00	-6,00																																																																																						
L-136	-1,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-12,00	-4,00	-4,00	9,00																																																																																						
L-134	-1,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00	-4,00																																																																																						
L-132	-4,00	-12,00	-12,00	-12,00	-12,00	-12,00	-12,00	-24,00	-15,00	-15,00	0,00																																																																																						



Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali


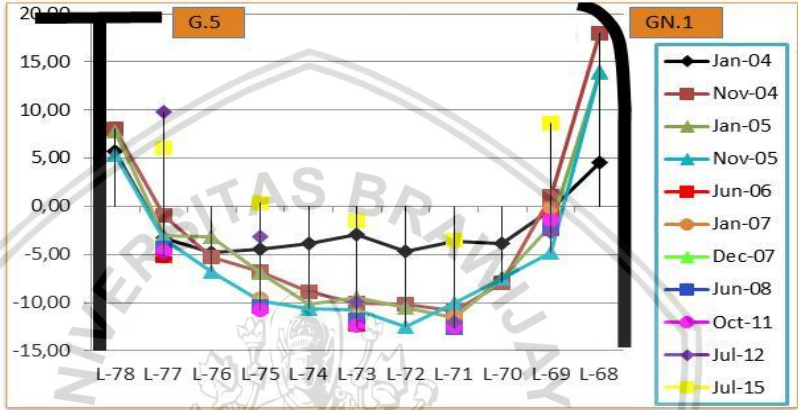

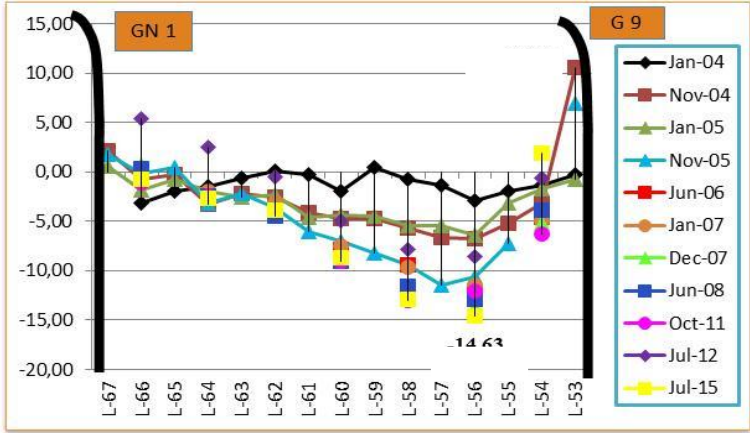
No	Pias
8	<div>GA.8 – G.0</div> <div></div> <div></div>
9	<div>G.0 – G.1</div> <div></div> <div></div>

Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali


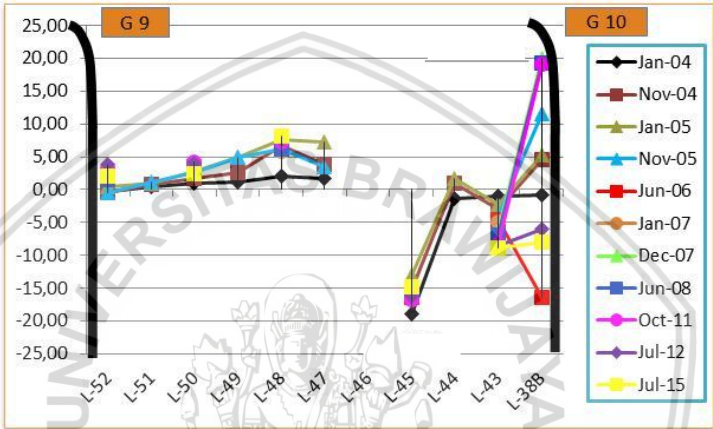

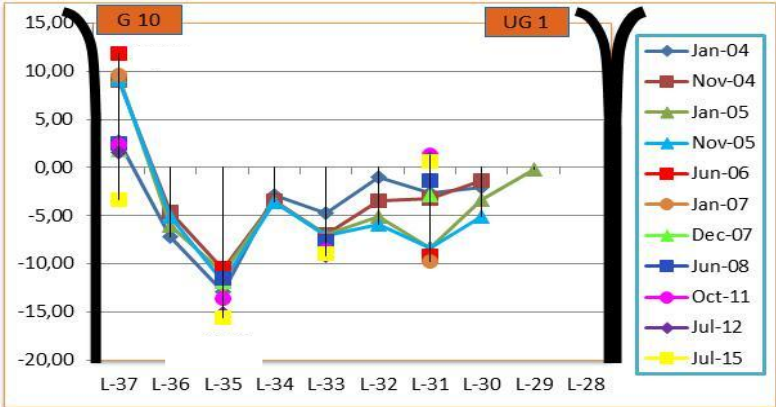
No	Pias
10	<p data-bbox="804 275 938 309" style="text-align: center;"><b>G.1 – G.4</b></p>  
11	<p data-bbox="804 1120 938 1153" style="text-align: center;"><b>G.4 – G.5</b></p>   



Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali

No	Pias
12	<div>G.5 – GN.1</div> <div></div> <div></div>
13	<div>GN.1-G.9</div> <div></div> <div></div>

Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali

No	Pias
14	<p data-bbox="794 275 944 309" style="text-align: center;"><b>G.9 – G.10</b></p>  
15	<p data-bbox="778 1164 954 1198" style="text-align: center;"><b>G.10 – UG. 1</b></p>  

No	Pias
----	------

--	--

Downloaded from <http://ajph.org/> on November 10, 2015



The graph displays the difference in water level (m) between GN 2 and UG 1. The y-axis represents the difference in meters, ranging from -30.00 to 50.00. The x-axis represents time in days, labeled from L-26 to L-17. The legend indicates the following dates for each data point:

- Jan-04 (Black line with diamond markers)
- Nov-04 (Brown line with square markers)
- Jan-05 (Olive line with triangle markers)
- Nov-05 (Cyan line with triangle markers)
- Jun-06 (Red line with square markers)
- Jan-07 (Orange line with circle markers)
- Dec-07 (Light green line with triangle markers)
- Jun-08 (Blue line with square markers)
- Oct-11 (Pink line with circle markers)
- Jul-12 (Purple line with diamond markers)
- Jul-15 (Yellow line with square markers)

Key observations from the graph:

- In Jan-04, there is a sharp peak of approximately 40.00 m at L-25, followed by a rapid decline to around -10.00 m by L-23.
- For most other dates, the water level difference remains relatively stable, fluctuating between -10.00 m and 0.00 m.
- There is a slight upward trend in the difference starting around L-19, reaching approximately 15.00 m by L-17.


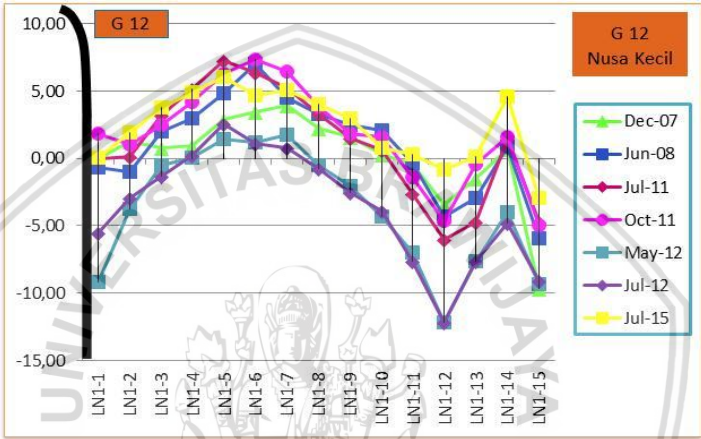


The chart displays the evolution of the GN 2 and G 12 indices over time. The Y-axis represents the index value, ranging from -25,00 to 20,00. The X-axis represents time, with labels from L-158 to L-28. The chart shows a general upward trend with significant fluctuations. A minimum value of -20.40 is marked at L-148. The legend identifies the following data series:

- Jan-04 (Black line with diamond markers)
- Nov-04 (Brown line with square markers)
- Jan-05 (Green line with triangle markers)
- Nov-05 (Light blue line with upward triangle markers)
- Jun-06 (Red line with square markers)
- Jan-07 (Orange line with circle markers)
- Dec-07 (Light green line with upward triangle markers)
- Jun-08 (Dark blue line with square markers)
- Oct-11 (Pink line with circle markers)
- Jul-12 (Purple line with diamond markers)
- Jul-15 (Yellow line with circle markers)



Lanjutan Tabel 3.1 Kondisi Pantai Nusa Dua, Bali

No	Pias
18	<p style="text-align: center;"><b>G12 (Nusa Kecil)</b></p>  

Sumber: Hasil Survey

### 3.2 Data-data yang Diperlukan

Dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan data-data yang mendukung guna memudahkan dalam menganalisa dari permasalahan yang ada, maka perlu disajikan beberapa data sebagai berikut:

1. Peta daerah lokasi studi. Diperlukan untuk menentukan panjang daerah pembangkitan gelombang atau *fetch*.
2. Peta Bathimetri (peta laut) dan topografi daerah lokasi studi  
Yaitu berupa data kontur dasar laut. Peta ini diperlukan untuk mengetahui keadaan kedalaman laut sekitar lokasi pekerjaan. Data ini bersama dengan data angin digunakan dalam analisa pasca-kiraan gelombang dan analisa refraksi serta shoaling gelombang di lokasi studi.
3. Data kecepatan dan arah angin.  
Data angin digunakan untuk memprediksi besarnya tinggi gelombang dan periode gelombang jika tidak ada data pengukuran di laut dalam yang terjadi di daerah

studi. Data angin tersebut dipergunakan untuk prediksi arah dan tinggi gelombang di lokasi studi. Data yang digunakan mulai dari pengukuran tahun 2000-2009.

4. Data pengukuran pasang surut muka air laut.
5. Data sedimen pantai untuk analisis pergerakan sedimen.

### 3.3 Langkah-langkah Studi

1. Menganalisis panjang *fetch* berdasarkan peta lokasi studi
2. Mengolah data angin

Mengolah data arah dan kecepatan angin menjadi data gelombang (pembangkitan gelombang). Sehingga diperoleh tinggi gelombang signifikan, periode gelombang signifikan, dan arah gelombang datang kemudian dibuat mawar angin.

3. Menggambar mawar angin (*wind rose*)

Dengan cara mengelompokkan kecepatan angin berdasarkan arah angin yang ditinjau dan mengelompokkannya dalam kelas-kelas yang berupa interval kecepatan angin. Yaitu dengan membuat tabel (matrik) yang barisnya berupa arah penjuruan angin dan kolomnya berupa interval kecepatan angin. Jumlah kejadian kecepatan angin yang telah dikelompokkan dalam kelas-kelas dikonversikan dalam prosentase, selanjutnya digambar sebagai mawar angin.

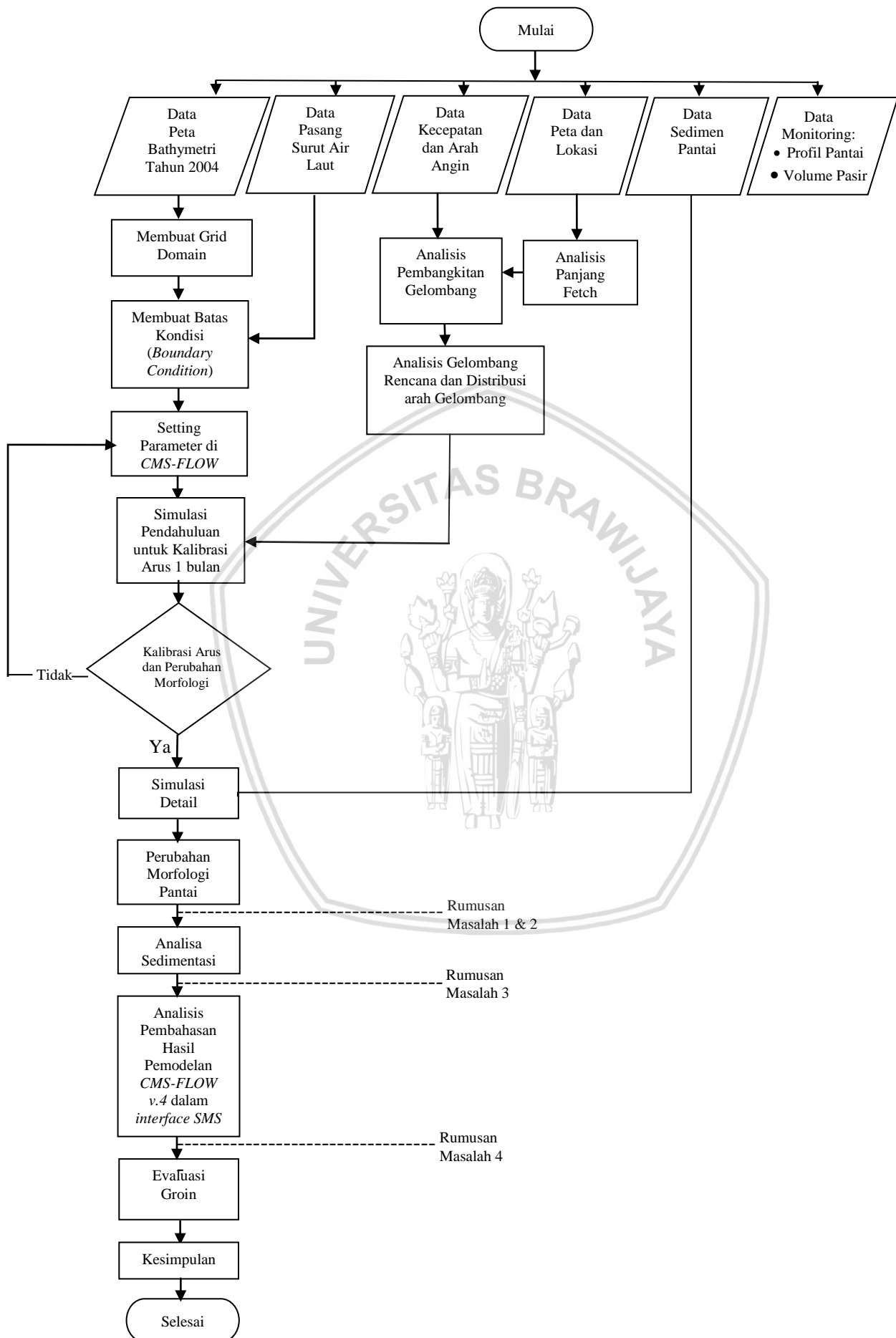
4. Menghitung tinggi gelombang rencana

Menentukan tinggi gelombang dengan kala ulang tertentu yang akan digunakan dalam desain bangunan. Metode yang digunakan adalah dengan distribusi Fisher-Tippet tipe 1 dan distribusi Weibull. Pendekatan yang dilakukan adalah mencoba beberapa metode tersebut untuk data tersedia dan kemudian dipilih yang memberikan hasil terbaik.

5. Mengkalibrasi model dengan jangka waktu simulasi 1 bulan dengan parameter arus.
6. Menentukan parameter pemodelan
7. Analisis *residual current* dan pola pergerakan sedimen
8. Mensimulasi pola perubahan garis pantai Nusa Dua, Bali.
9. Selesai

Untuk lebih jelasnya, langkah-langkah yang dilakukan tersebut dapat digambarkan dalam bagan alir 3.3 sebagai berikut:





Gambar 3.3 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1 Pembangkitan Gelombang oleh Angin

Data kecepatan angin didapat dari Stasiun Lapangan Udara Ngurah Rai Bali berupa data angin observasi rerata dalam satuan knot, sehingga harus dikonversikan terlebih dahulu dalam satuan metrik (m/detik) dan dikoreksi terhadap elevasi, pengaruh suhu di darat dan di laut, serta faktor lokasi observasi. Berikut contoh perhitungan konversi kecepatan angin yang dianalisa untuk data angin tanggal 1 Januari 2000:

Kecepatan Angin (rerata) : 4 knot  
 Arah angin :  $270^{\circ}$  (Barat)  
 Elevasi Anemometer : +14 m, Lapangan Udara Ngurah Rai Bali  
 Perbedaan suhu di darat dan di laut :  $\Delta T = T_a - T_s \approx 0^{\circ}\text{C}$   
 Satu satuan knot sama dengan 0,5144 m/detik. Maka perhitungannya menjadi:

$$U = 4 \times 0,5144 = 2.249$$

#### 4.1.1 Distribusi Arah Angin

Arah angin yang paling dominan dan jumlah presentase kejadian angin selama 10 tahun dapat ditentukan dengan mempersentasekan kecepatan angin pada masing-masing arah. Data kecepatan angin rerata selama 10 tahun (2000 – 2009) diklasifikasikan dalam sembilan kelas dengan interval 2 m/detik. Kemudian distribusi kejadian tiap interval kelas dan arah mata angin dihitung untuk digambar sebagai mawar angin. Untuk membantu menentukan dan membuat grafik mawar angin di Pantai Nusa Dua digunakan program *WRPLOT View* versi 8.0.0. Pengklasifikasian kecepatan dan arah angin dibagi menjadi 3 yaitu: kecepatan dan arah angin rerata dapat dilihat pada Tabel 4.1, kecepatan dan arah angin rerata musim hujan dapat dilihat pada Tabel 4.2, dan kecepatan dan arah angin rerata musim kemarau dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Frekuensi Kejadian Angin Rerata

Arah			Kecepatan Angin (m/detik)									Total
Mata Angin	(°)		0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	≥16	
N	Utara	337,5 - 22,5	12004	1462	97	8	1	0	0	0	0	13572
NE	Timur Laut	22,5 - 67,5	1618	1137	80	4	5	0	0	0	0	2844
E	Timur	67,5 - 112,5	2538	11405	7108	855	18	2	0	0	0	21926
SE	Tenggara	112,5 - 157,5	3052	10865	7186	1272	26	1	0	0	0	22402
S	Selatan	157,5 - 202,5	1595	1746	258	14	0	0	1	0	0	3614
SW	Barat Daya	202,5 - 247,5	1261	1799	520	61	8	4	0	0	0	3653
W	Barat	247,5 - 292,5	1359	6130	5218	2237	345	81	12	2	0	15384
NW	Barat Laut	292,5 - 337,5	980	2185	763	268	27	4	1	0	0	4228
Sub Total			24407	36729	21230	4719	430	92	14	2	0	87623
Data Hilang/Tidak Lengkap												1
Total												87624

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.2 Frekuensi Kejadian Angin Rerata Musim Hujan

Arah			Kecepatan Angin (m/detik)									Total
Mata Angin	(°)		0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	≥16	
N	Utara	337,5 - 22,5	7356	1131	81	7	1	0	0	0	0	8576
NE	Timur Laut	22,5 - 67,5	817	525	33	2	5	0	0	0	0	1382
E	Timur	67,5 - 112,5	1221	3157	859	24	0	0	0	0	0	5261
SE	Tenggara	112,5 - 157,5	1222	2960	1065	78	1	0	0	0	0	5326
S	Selatan	157,5 - 202,5	1068	1199	175	4	0	0	0	0	0	2446
SW	Barat Daya	202,5 - 247,5	1056	1572	449	46	8	4	0	0	0	3135
W	Barat	247,5 - 292,5	1069	5458	4912	2126	326	70	8	2	0	13971
NW	Barat Laut	292,5 - 337,5	771	1872	718	243	21	4	1	0	0	3630
Sub Total			14580	17874	8292	2530	362	78	9	2	0	43727
Data Hilang/Tidak Lengkap												1
Total												43728

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.3 Frekuensi Kejadian Angin Rerata Musim Kemarau

Arah			Kecepatan Angin (m/detik)									Total
Mata Angin	(°)		0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	≥16	
N	Utara	337,5 - 22,5	4647	331	16	1	0	0	0	0	0	4995
NE	Timur Laut	22,5 - 67,5	801	612	47	2	0	0	0	0	0	1462
E	Timur	67,5 - 112,5	1317	8248	6249	831	18	2	0	0	0	16665
SE	Tenggara	112,5 - 157,5	1830	7905	6121	1194	25	1	0	0	0	17076
S	Selatan	157,5 - 202,5	527	547	83	10	0	0	1	0	0	1168
SW	Barat Daya	202,5 - 247,5	205	227	71	15	0	0	0	0	0	518
W	Barat	247,5 - 292,5	290	672	306	111	19	11	4	0	0	1413
NW	Barat Laut	292,5 - 337,5	209	313	45	25	6	0	0	0	0	598
Sub Total			9826	18855	12938	2189	68	14	5	0	0	43895
Data Hilang/Tidak Lengkap												1
Total												43896

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Hasil pengelompokan arah angin menurut kejadian angin (m/detik) selanjutnya diperhitungkan untuk mengetahui nilai persentase (%) angin tiap arah. Menggunakan cara sebagai berikut:

Contoh perhitungan arah angin rerata:

Jumlah data angin arah Utara (U) 0-2 m/detik = 12.004 data

Jumlah data arah angin tahun 2000 - 2009 = 87.624 data

Jumlah pengali persentase = 100%

Untuk arah Utara (U) =  $\frac{12.004}{87.624} \times 100\% = 13,699 \%$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.4. Perhitungan yang sama dilakukan pada distribusi persentase kejadian angin rerata musim hujan dan distribusi persentase kejadian angin rerata musim kemarau yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.4 Distribusi Persentase Kejadian Angin Rerata

Arah			Kecepatan Angin (m/detik)									
Mata Angin	(°)		0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	≥16	Total (%)
N	Utara	337,5 - 22,5	13,699	1,668	0,111	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	15,489
NE	Timur Laut	22,5 - 67,5	1,847	1,298	0,091	0,005	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	3,246
E	Timur	67,5 - 112,5	2,896	13,016	8,112	0,976	0,021	0,002	0,000	0,000	0,000	25,023
SE	Tenggara	112,5 - 157,5	3,483	12,400	8,201	1,452	0,030	0,001	0,000	0,000	0,000	25,566
S	Selatan	157,5 - 202,5	1,820	1,993	0,294	0,016	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	4,124
SW	Barat Daya	202,5 - 247,5	1,439	2,053	0,593	0,070	0,009	0,005	0,000	0,000	0,000	4,169
W	Barat	247,5 - 292,5	1,551	6,996	5,955	2,553	0,394	0,092	0,014	0,002	0,000	17,557
NW	Barat Laut	292,5 - 337,5	1,118	2,494	0,871	0,306	0,031	0,005	0,001	0,000	0,000	4,825
Sub Total			27,854	41,917	24,229	5,386	0,491	0,105	0,016	0,002	0,000	99,999
Data Hilang/Tidak Lengkap												0,001
Total												100,000

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.5 Distribusi Persentase Kejadian Angin Rerata Musim Hujan

Arah			Kecepatan Angin (m/detik)									
Mata Angin	(°)		0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	≥16	Total (%)
N	Utara	337,5 - 22,5	16,822	2,586	0,185	0,016	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	19,612
NE	Timur Laut	22,5 - 67,5	1,868	1,201	0,075	0,005	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	3,160
E	Timur	67,5 - 112,5	2,792	7,220	1,964	0,055	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	12,031
SE	Tenggara	112,5 - 157,5	2,795	6,769	2,436	0,178	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	12,180
S	Selatan	157,5 - 202,5	2,442	2,742	0,400	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,594
SW	Barat Daya	202,5 - 247,5	2,415	3,595	1,027	0,105	0,018	0,009	0,000	0,000	0,000	7,169
W	Barat	247,5 - 292,5	2,445	12,482	11,233	4,862	0,746	0,160	0,018	0,005	0,000	31,950
NW	Barat Laut	292,5 - 337,5	1,763	4,281	1,642	0,556	0,048	0,009	0,002	0,000	0,000	8,301
Sub Total			33,342	40,875	18,963	5,786	0,828	0,178	0,021	0,005	0,000	99,998
Data Hilang/Tidak Lengkap												0,002
Total												100,000

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.6 Distribusi Persentase Kejadian Angin Rerata Musim Kemarau

Arah			Kecepatan Angin (m/detik)									
Mata Angin	(°)		0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 – 10	10 – 12	12 – 14	14 – 16	≥16	Total (%)
N	Utara	337,5 - 22,5	10,586	0,754	0,036	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	11,379
NE	Timur Laut	22,5 - 67,5	1,825	1,394	0,107	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,331
E	Timur	67,5 - 112,5	3,000	18,790	14,236	1,893	0,041	0,005	0,000	0,000	0,000	37,965
SE	Tenggara	112,5 - 157,5	4,169	18,008	13,944	2,720	0,057	0,002	0,000	0,000	0,000	38,901
S	Selatan	157,5 - 202,5	1,201	1,246	0,189	0,023	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	2,661
SW	Barat Daya	202,5 - 247,5	0,467	0,517	0,162	0,034	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,180
W	Barat	247,5 - 292,5	0,661	1,531	0,697	0,253	0,043	0,025	0,009	0,000	0,000	3,219
NW	Barat Laut	292,5 - 337,5	0,476	0,713	0,103	0,057	0,014	0,000	0,000	0,000	0,000	1,362
Sub Total			22,385	42,954	29,474	4,987	0,155	0,032	0,011	0,000	0,000	99,998
Data Hilang/Tidak Lengkap												0,002
Total												100,000

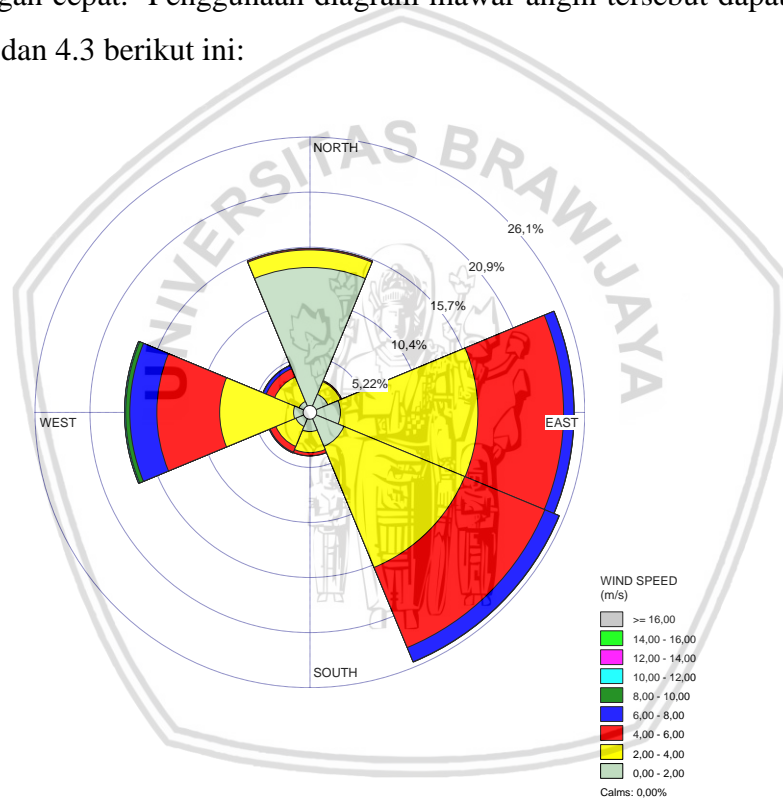
Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Dari hasil persentase distribusi diatas dapat diketahui bahwa angin rerata paling banyak terdistribusi dari arah tenggara dengan persentase kejadian 25,566%. Hal yang sama juga terjadi pada distribusi angin rerata musim kemarau, arah tenggara juga mengalami kejadian angin paling banyak yaitu sebesar 38,901%. Akan tetapi pada distribusi angin rerata musim hujan kejadian angin paling banyak terdapat pada arah barat

yaitu sebesar 31,950%. Distribusi angin paling sedikit terjadi pada arah timur laut untuk angin rerata dan angin rerata musim hujan yaitu sebesar 3,246% dan 3,160%. Sedang pada angin rerata musim kemarau distribusi angin paling sedikit terjadi pada arah barat daya yaitu sebesar 1,180%.

#### 4.1.2 Penggunaan Diagram Mawar Angin

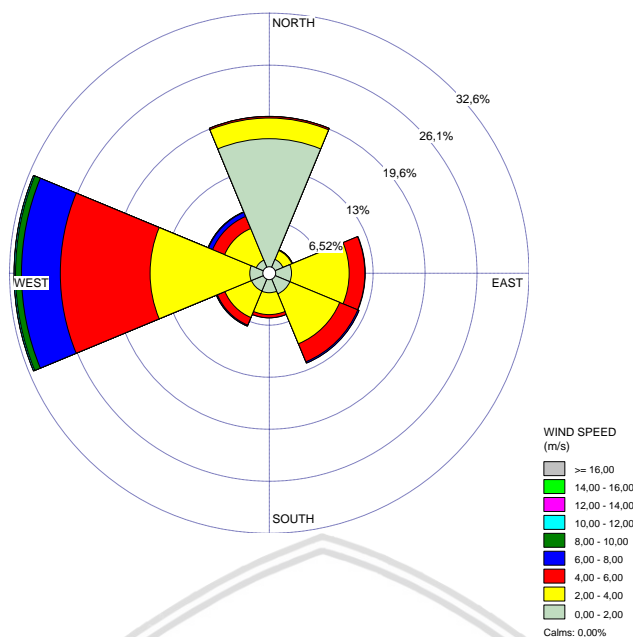
Diagram mawar angin (*wind rose*) banyak digunakan dengan tujuan untuk mempermudah dalam pembacaan arah angin paling dominan berdasarkan karakteristik angin yang diperoleh. Diagram mawar angin (*wind rose*) digambarkan berdasarkan hasil perhitungan persentase tiap arah pada Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9, sehingga karakter angin dapat dibaca dengan cepat. Penggunaan diagram mawar angin tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1, 4.2, dan 4.3 berikut ini:



Gambar 4.1 Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Tahun 2000 – 2009

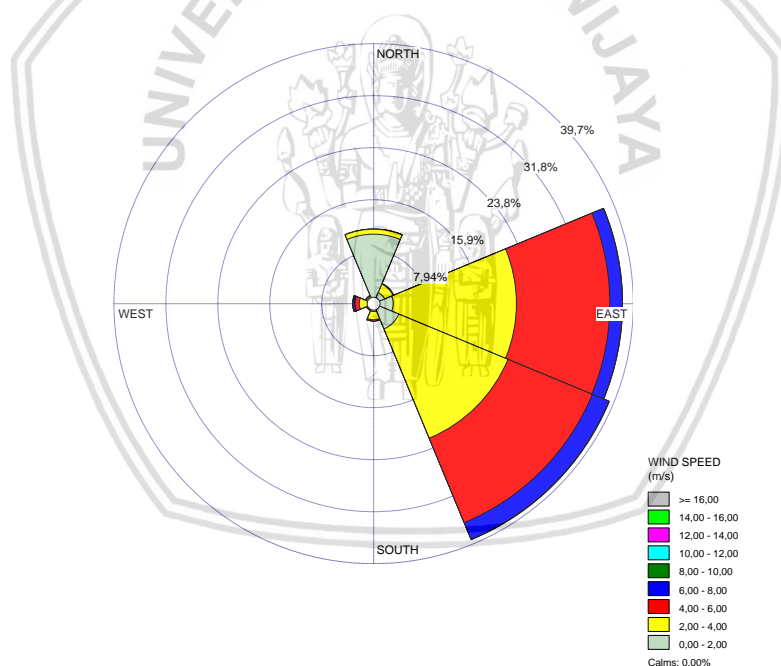
Sumber: Hasil Perhitungan, 2018





Gambar 4.2 Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Musim Hujan (2000 – 2009)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018



Gambar 4.3 Mawar Angin Pantai Nusa Dua, Bali Data Angin Rerata Musim Kemarau (2000 – 2009)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

#### 4.1.3. Koreksi Kecepatan Angin

Peramalan tinggi gelombang dan periode gelombang didasarkan pada faktor tegangan angin. Pencatatan angin yang aktual dilakukan pada lokasi perencanaan (*site*) setempat sehingga efek-efek pengaruh *orographic* dan angin laut dapat dimasukkan. Apabila pengukuran angin di lokasi tidak dapat dilakukan maka pengukuran pada lokasi di sekitar

site atau tabel cuaca synoptic bisa digunakan. Akan tetapi kecepatan angin harus disesuaikan terlebih dahulu untuk mencegah timbulnya kesalahan pada prediksi gelombang. Penyesuaian kecepatan angin dapat dilakukan dengan beberapa tahap yaitu :

#### 1. Koreksi Elevasi

Pengukuran kecepatan angin harus dilakukan pada ketinggian 10 m, apabila kecepatan angin observasi tidak diukur pada elevasi tersebut maka koreksi elevasi wajib untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan beberapa rumus dan grafik untuk meramalkan gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada ketinggian tersebut. Misal data angin yang didapat dari pengukuran elevasi lain ( $z$  meter di atas muka air laut), maka perlu dikonversi menjadi kecepatan angin pada elevasi 10 m di atas muka air laut dengan menggunakan persamaan (2-10) seperti berikut :

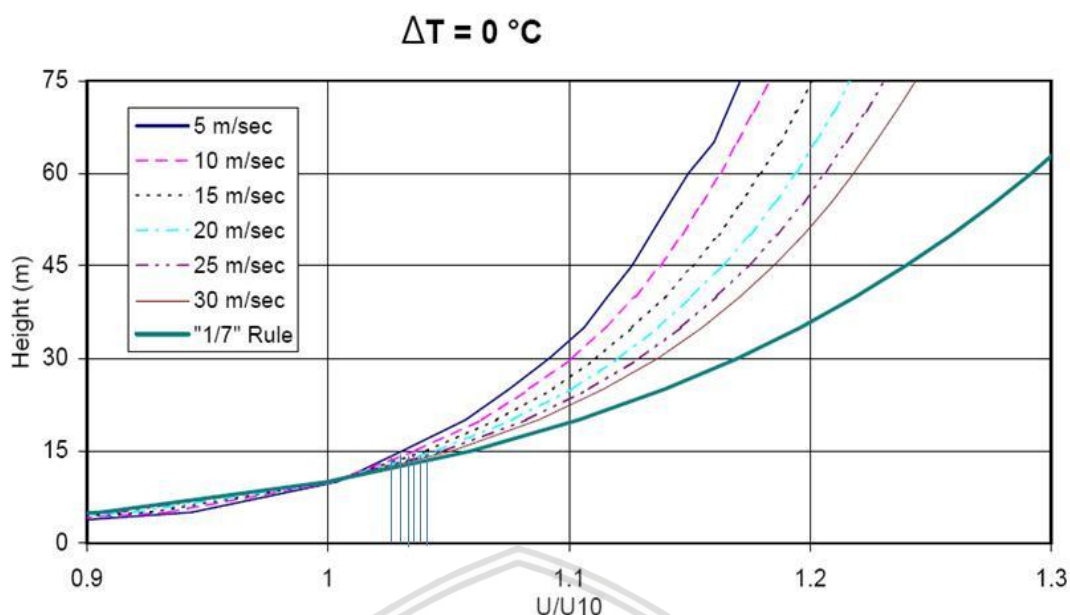
$$U_{10} = \frac{U_z}{U/U_{10}}$$

Data angin yang diambil pada kondisi mendekati ketinggian 10 m di atas muka air laut dengan batasan antara 8 – 12 m maka rumus yang digunakan pada persamaan (2-11) berikut :

$$U_{10} = U_z \left( \frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}}$$

Di Lapangan Udara Ngurah Rai, Bali alat ukur anemometer terletak pada ketinggian 14 m di atas muka air laut, sehingga digunakan persamaan (2-10) dengan nilai  $U/U_{10}$  didapat dari Gambar 2.9 sesuai dengan  $\Delta T$  pada lokasi observasi yaitu sebesar  $0^\circ\text{C}$  dan nilai  $U_z$  merupakan kecepatan angin pada ketinggian  $z$ .

Dari gambar 2.9 pada *height* (ketinggian anemometer = 14 m) ditarik garis secara horizontal sampai bertemu dengan garis lengkung yang menunjukkan kecepatan angin dalam satuan m/detik kemudian dari titik tersebut ditarik garis secara vertikal hingga menyentuh nilai  $U/U_{10}$ . Pengamatan dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan hasil dari pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut :



Gambar 4.4 Kurva penentuan nilai  $U/U_{10}$  pada  $\Delta T = 0^\circ \text{C}$

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.7 Hasil Penentuan Koefisien  $U/U_{10}$

$U/U_{10}$	Kecepatan (m/detik)						"1/7" Rule
	5	10	15	20	25	30	
$u/u_{10}$	1,024	1,029	1,031	1,034	1,037	1,039	1,045

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Untuk menyesuaikan dengan data angin yang ada, perlu dilakukan interpolasi dan ekstrapolasi dari Tabel 4.7 untuk mendapatkan nilai  $U/U_{10}$ . Misal pada perhitungan tanggal 1 Januari 2000 berikut :

$$U_{z_{rt}} = 2,251 \text{ m/detik}$$

$$U/U_{10} = \frac{2,251-5}{5-10} \times (1,02 - 1,03) + 1,03 = 1,02$$

Kemudian nilai  $U/U_{10}$  dimasukkan ke dalam persamaan :

$$U_{10} = \frac{U_z}{U/U_{10}}$$

Sehingga contoh perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$U_{z_{rt}} = 2,251 \text{ m/detik}$$

$$U/U_{10} = 1,02$$

$$U_{10} = \frac{2,251}{1,02} = 2,02 \text{ m/detik}$$

## 2. Koreksi Lokasi

Data angin yang digunakan sebagai peramalan gelombang seringkali didapat dari stasiun pencatat angin di darat yang terdekat dari lokasi observasi, hal ini dikarenakan data angin dari pengukuran di atas laut tidak tersedia. Perbedaan lokasi observasi akan

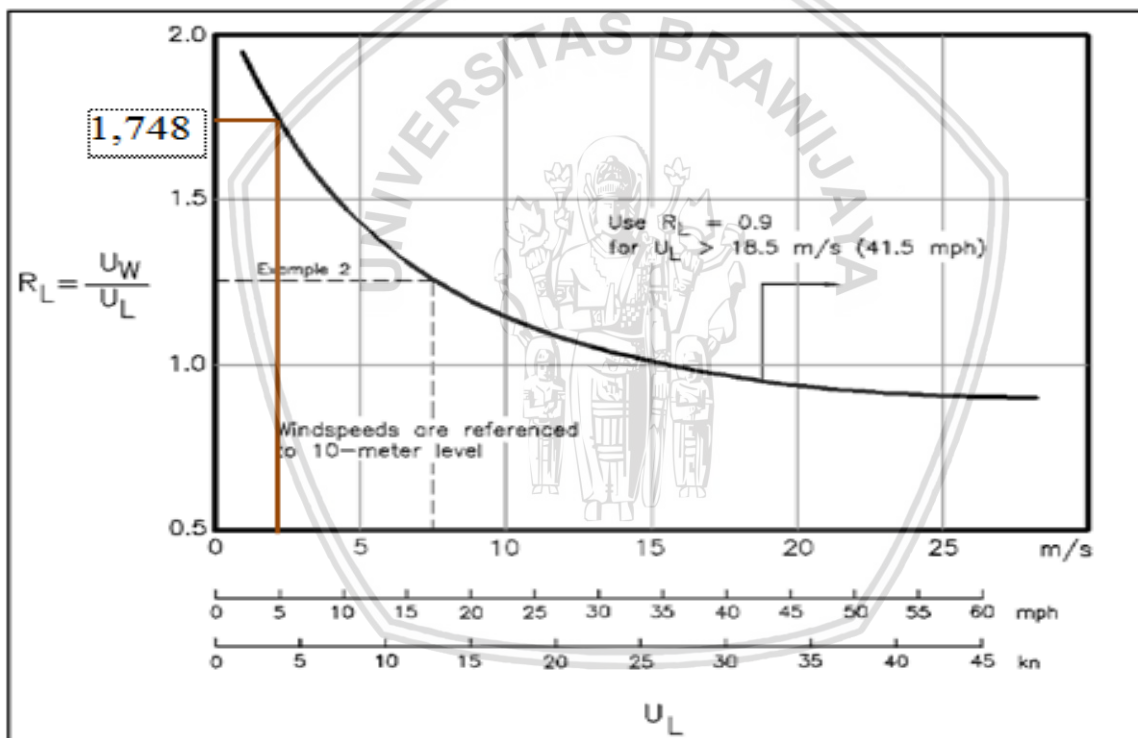
berpengaruh terhadap kecepatan angin yang didapat. Anemometer yang dipasang di darat harus sedekat mungkin dengan pantai, agar tidak ada perbedaan tekanan atmosfer dari data angin yang tercatat. Jika anemometer terletak jauh dari pantai, maka perlu dilakukan koreksi pada data angin dengan menggunakan nilai faktor koreksi  $R_L$  seperti pada Gambar 2.11. Gambar 2.11 digunakan jika pencatatan data angin dilakukan di atas darat dengan fetch yang cukup panjang untuk pembentukan full development pada batas lapisan laut (lebih panjang dari 16 km atau 10 mil). Rumus yang digunakan pada kondisi seperti yaitu :

$$U_w = R_L \times U_L$$

Sedangkan jika panjang fetch <10 mil, maka rumus yang digunakan :

$$U_w = 1,2 \times U_L$$

Contoh pada perhitungan bulan Januari 2000, diketahui nilai  $U_L = U_{10} = 2,2023$



Gambar 4.5 Rasio  $R_L$  dari Kecepatan Angin pada 1 Januari 2000

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Dari pengamatan yang dilakukan pada Gambar 4.4 diketahui nilai  $R_L = 1,748$ .

Selanjutnya dilakukan perhitungan kecepatan angin yang telah dikoreksi faktor elevasi

( $U_w$ ). Arah angin pada tanggal 1 Januari 2000 dari kecepatan angin rerata adalah arah

barat. Karena panjang fetch kurang dari 10 mil, sehingga digunakan rumus  $U_w = 1,2 \times U_L$ .

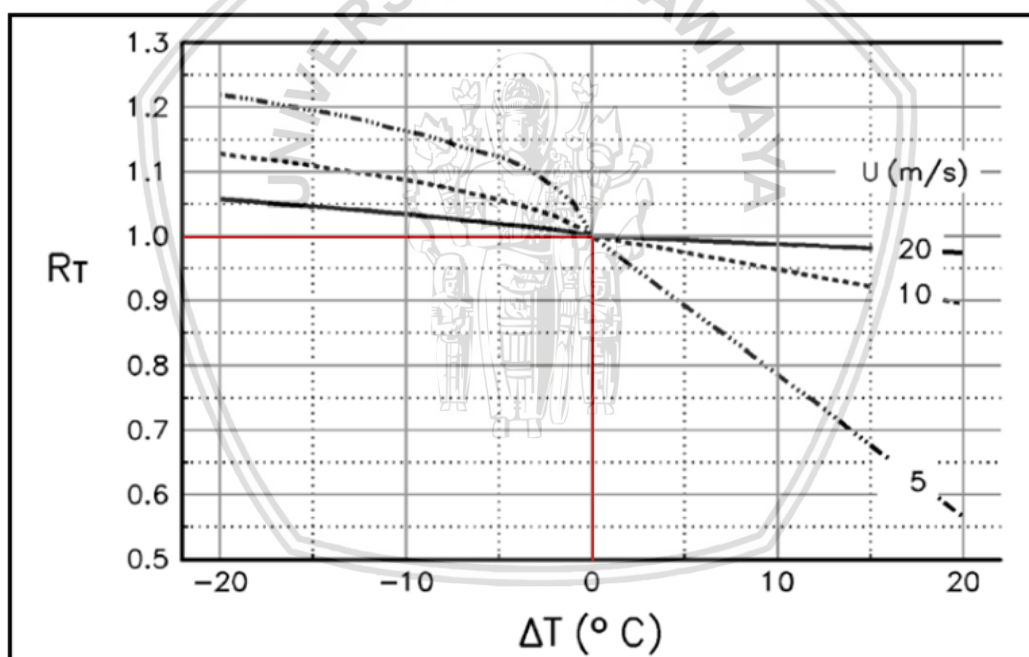
Maka :  $U_w = 1,2 \times 2,2023 = 2,643$

### 3. Koreksi Stabilitas

Jika panjang *fetch* lebih dari 16 km, maka perlu dilakukan penyesuaian stabilitas untuk lapisan batas. Kondisi lapisan batas atmosfer dapat dikategorikan menjadi tiga bergantung pada kondisi berikut :

- *Stable* : ketika air lebih dingin daripada udara, sehingga air dapat mendinginkan udara di atasnya dan mengurangi campuran di kolom udara ( $R_T = 0,9$ ).
- *Neutral* : ketika udara dan air memiliki suhu yang sama, sehingga temperatur air tidak berpengaruh pada campuran di kolom udara ( $R_T = 1,0$ ).
- *Unstable* : ketika air lebih hangat daripada udara, air menghangatkan udara, sehingga menyebabkan udara di dekat permukaan air mengembang, dan meningkatkan campuran di kolom udara ( $R_T = 1,1$ ).

Akan tetapi penentuan nilai  $R_T$  dengan menggunakan kondisi tersebut tidak dapat menghasilkan nilai  $R_T$  yang akurat, sehingga digunakan cara seperti yang terlihat pada Gambar 4.6 di bawah ini untuk mendapatkan nilai  $R_T$ .



Gambar 4.6 Penentuan Nilai  $R_T$  untuk  $\Delta T = 0^\circ\text{C}$

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Pada daerah kajian skripsi ini telah diketahui perbedaan suhu udara-laut  $0^\circ\text{C}$  sehingga nilai  $R_T = 1$

#### 4. Kecepatan Angin Terkoreksi

Kecepatan angin terkoreksi didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$U = U_w \times R_T$$



Rumus kecepatan angin terkoreksi diatas digunakan apabila panjang *fetch* lebih dari 10 mil. Jika panjang *fetch* kurang dari 10 mil maka koreksi stabilitas tidak perlu dilakukan, sehingga nilai angin terkoreksi ( $U_c$ ) =  $U_w$  seperti pada tanggal 1 Januari 2000 berikut :

$$\begin{aligned} U_c &= U_w \\ &= 2,643 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

##### 5. Faktor Tegangan Angin

Variabel  $U_A$  yaitu faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) digunakan pada rumus-rumus dan grafik-grafik pembangkitan gelombang. Nilai  $U_A$  dihitung dari nilai kecepatan angin yang telah dilakukan berbagai tahapan koreksi sebelumnya. Kecepatan angin terkoreksi dikonversikan pada faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) dengan menggunakan persamaan (2-13) berikut :

$$U_A = 0.71 \cdot U^{1.23}$$

$$U_A = 0.71 \cdot 2,643^{1.23}$$

$$U_A = 2,346 \text{ meter/detik}$$

Perhitungan tegangan angin bulan Januari 2000 dapat dilihat pada Tabel 4.8. Untuk perhitungan bulan Februari 2000 sampai Desember 2009 terdapat pada lampiran I.

Tabel 4.8. Perhitungan Angin Terkoreksi

Bulan : Januari Tahun : 2000

AT  $\approx 0^{\circ}\text{C}$ 

Elevasi Anemometer = +14m

Tanggal	Data Angin			Faktor Koreksi					Angin Terkoreksi
	Kec. Rerata	Arah		Kec.	Elevasi	$R_L$	$R_T$	U	Ua
	(knot)	( $^{\circ}$ )	mata angin	(m/detik)	( $U_{10}$ )			(m/detik)	(m/detik)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	4	270	B	2.251	2.202	1.748	1	2.643	2.346
2	3	360	U	1.522	1.490	1.842	1	1.788	1.451
3	2	360	U	0.943	0.924	1.923	1	1.109	0.806
4	4	270	B	2.251	2.202	1.748	1	2.643	2.346
5	2	360	U	0.857	0.840	0.000	1	1.008	0.717
6	3	360	U	1.479	1.448	1.848	1	1.738	1.401
7	4	360	U	1.908	1.867	1.791	1	2.241	1.915
8	4	360	U	1.886	1.846	1.794	1	2.216	1.889
9	4	360	U	2.122	2.077	1.764	1	2.492	2.183
10	5	270	B	2.358	2.307	1.735	1	2.768	2.484
11	6	270	B	2.915	2.851	1.669	1	3.421	3.223
12	5	270	B	2.658	2.600	1.699	1	3.120	2.878
13	7	270	B	3.408	3.331	1.616	1	3.997	3.904
14	8	270	B	3.858	3.770	1.570	1	4.523	4.545
15	6	270	B	3.044	2.976	1.655	1	3.571	3.398
16	2	360	U	1.222	1.197	1.883	1	1.436	1.108
17	2	360	U	1.115	1.092	1.898	1	1.310	0.990
18	3	360	U	1.479	1.448	1.848	1	1.738	1.401
19	4	90	T	2.122	2.077	1.764	1	3.663	3.505
20	6	270	B	2.937	2.872	1.667	1	3.446	3.252
21	4	270	B	2.186	2.140	1.756	1	2.567	2.264
22	9	270	B	4.501	4.395	1.509	1	5.274	5.489
23	11	270	B	5.616	5.478	1.418	1	6.573	7.196
24	5	360	U	2.379	2.328	1.732	1	2.793	2.512
25	3	360	U	1.350	1.323	1.865	1	1.587	1.253
26	7	315	BL	3.494	3.415	1.607	1	4.098	4.024
27	4	90	T	2.251	2.202	1.748	1	3.849	3.726
28	3	360	U	1.758	1.721	1.810	1	2.065	1.732
29	2	360	U	1.265	1.239	1.877	1	1.486	1.156
30	6	270	B	2.979	2.913	1.662	1	3.496	3.310
31	8	270	B	4.180	4.082	1.539	1	4.899	5.013

Sumber: Perhitungan

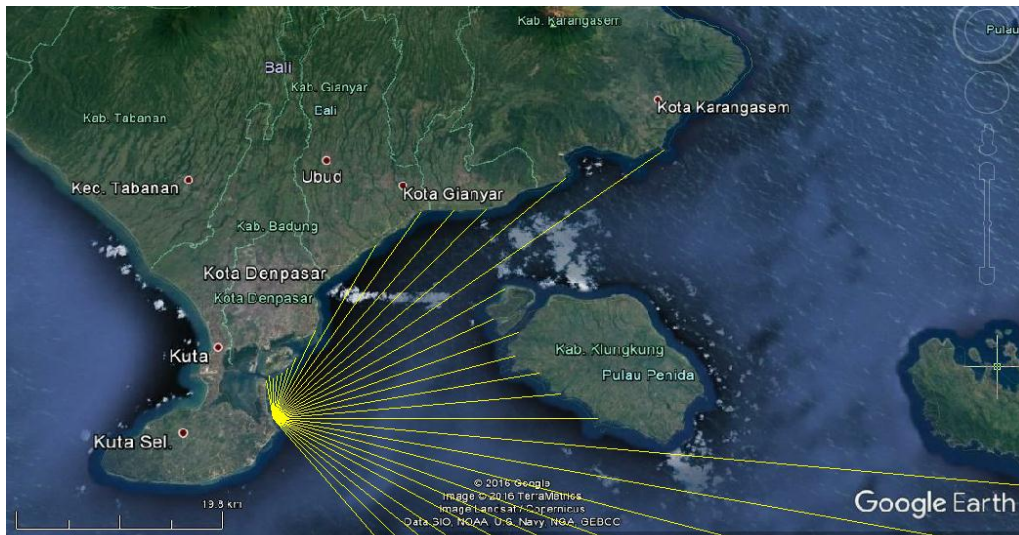
1 knot = 0.5144 m/s

Keterangan :

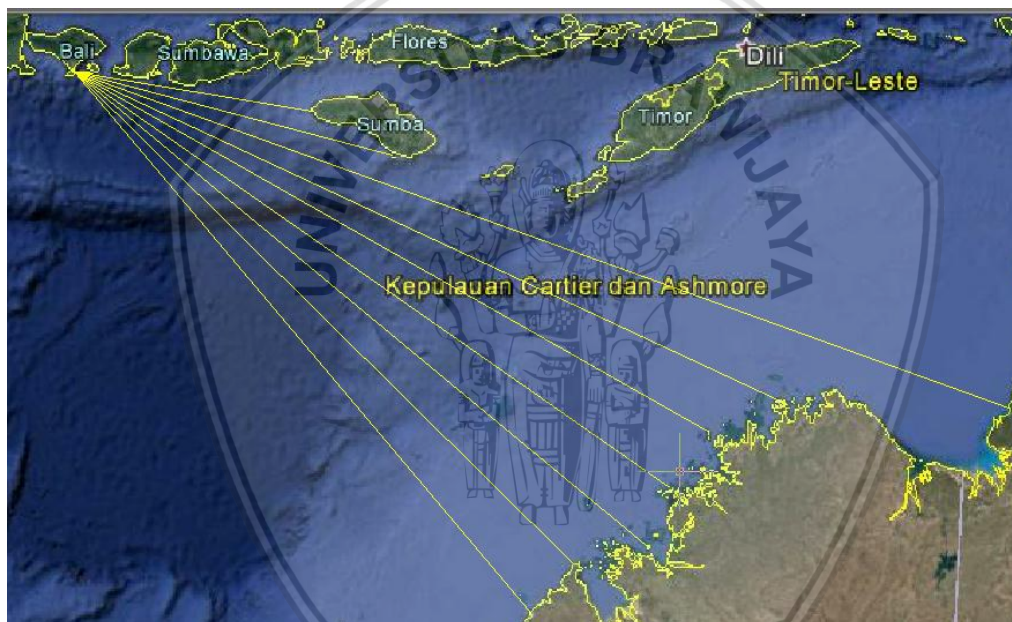
- |         |                          |  |
|---------|--------------------------|--|
| 1. Data | 5. (2)*0,5144            | 9. jika $F_{eff} < 10$ mil 1.2 x (6); jika tidak = (6) x (7) x (8) |
| 2. Data | 6. (5)/ Koef. Gambar 2.7 | 10. $0.71 \times (12)^{1.23}$                                      |
| 3. Data | 7. Koef. Gambar 2.9      |  |
| 4. Data | 8. Koef. Gambar 2.10     |  |

## 4.2 Penentuan *Fetch* Efektif

Daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan disebut dengan *fetch*. Perhitungan *fetch* efektif dilakukan berdasarkan peta perairan lokasi dan wilayah sekitarnya. Sebelum dilakukan perhitungan *fetch* efektif, pertama perlu dilakukan penggambaran garis *fetch*. Untuk menggambar garis *fetch* pada titik lokasi studi ditarik garis dengan interval  $5^{\circ}$  dalam 8 arah mata angin utama. Setelah itu dapat diukur panjang *fetch* meliputi pengukuran dalam wilayah pengaruh *fetch* ( $-22,5^{\circ}$  sampai kiri arah utama hingga  $+22,5^{\circ}$  sampai kanan arah utama). Agar lebih detail mengenai penggambaran garis *fetch* dan rekapitulasi perhitungan *fetch* efektif maka telah disajikan Gambar 4.7, Gambar 4.8, Tabel 4.9 dan untuk tabel perhitungan *fetch* efektif dapat dilihat pada lampiran II.



Gambar 4.7 Penggambaran Garis *fetch* pada Lokasi Studi  
Sumber: Hasil Perhitungan, 2018



Gambar 4.8 Penggambaran Garis *fetch* untuk Arah Tenggara  
Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan *Fetch* Efektif

Arah		$F_{eff}$
		(km)
Utara	U	4,505
Timur Laut	TL	26,621
Timur	T	384,548
Tenggara	TG	1446,090

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

### 4.3 Peramalan Gelombang Menggunakan Metode JONSWAP

Dalam kajian ini pembentukan gelombang di perairan dalam (*deep water waves*) dianalisis dengan menggunakan formula spektrum JONSWAP. Adapun langkah-langkah perhitungan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Diketahui :  $U_A$  (*Wind Stress Factor*),  $F$  (Panjang *Fetch* Efektif), dan Durasi (waktu bertiupnya angin)
2. Kondisi :

- a. Lama hembus angin ( $t$ )  $> t_c \rightarrow$  *Fetch Limited (FL)* :

- Menghitung nilai  $H$  dengan menggunakan persamaan (2.17) :

$$\frac{gH_{td}}{U_A^2} = 68,8 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \leq 7,5 \times 10^4$$

- Menghitung nilai  $T$  dengan menggunakan persamaan (2.18) :

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,0016 \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \leq 0,2433$$

- b. Lama hembus angin ( $t$ )  $< t_c \rightarrow$  *Duration Limited (DL)*

- Menghitung nilai  $F_{min}$  dari persamaan (2.17)

$$F_{min} = \frac{U_A^2}{g} \left( \frac{g.t}{68,8.U_A} \right)^{\frac{3}{2}}$$

- Menghitung nilai  $H$  dengan menggunakan rumus (2.17), dengan nilai  $F = F_{min}$
- Menghitung nilai  $T$  dengan menggunakan rumus (2.18), dengan nilai  $F = F_{min}$

3. Nilai  $H$  dan  $T$  yang didapat dari peramalan merupakan :

- Nilai  $H \rightarrow H = H_{1/3} = H_S =$  Tinggi Gelombang Signifikan
- Nilai  $T \rightarrow T = T_P =$  Periode Puncak Spektrum

Dimana  $T_S \sim 0,95 T_P$  ( $T_S =$  Periode Gelombang Signifikan)

Perhitungan hasil tinggi dan periode gelombang yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran III.



Tabel 4.10 Perhitungan Pembentukan Gelombang yang dibangkitkan oleh Angin Bulan Januari 2000

Bulan : Januari			Tahun : 2000																	
Tanggal	U	U <sub>A</sub>	t	Arah	F <sub>err</sub>		Cek Fully/Non Fully Developed			Cek Duration/ Fetch Limited		Non Fully Developed			Fully		Rekapitulasi Perhitungan			
	(m/detik)	(m/detik)	(detik)			(m)	hitung	type	t <sub>c</sub> (detik)	type	Cek Kondisi Batas	F <sub>min</sub> (m)	H <sub>m0</sub> (m)	T <sub>p</sub> (detik)	H <sub>m0</sub> (m)	T <sub>p</sub> (detik)	Type	H <sub>m0</sub> (m)	T <sub>s</sub> (detik)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)		
1	2.643	2.346	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.788	1.451	21600	U	4505.321	52342.310	Non Fully Developed	7743.422	Fetch Limited	OK	-	0.050	1.166	-	-	Non Fully Developed	0.050	1.108		
3	1.109	0.806	21600	U	4505.321	114619.636	Fully Developed	0.000	-	-	-	-	-	0.016	0.668	Fully Developed	0.016	0.635		
4	2.643	2.346	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1.008	0.717	21600	U	4505.321	133993.727	Fully Developed	0.000	-	-	-	-	-	0.013	0.595	Fully Developed	0.013	0.565		
6	1.738	1.401	21600	U	4505.321	54849.769	Non Fully Developed	7834.538	Fetch Limited	OK	-	0.048	1.152	-	-	Non Fully Developed	0.048	1.095		
7	2.241	1.915	21600	U	4505.321	36155.992	Non Fully Developed	7059.351	Fetch Limited	OK	-	0.066	1.279	-	-	Non Fully Developed	0.066	1.215		
8	2.216	1.889	21600	U	4505.321	36831.015	Non Fully Developed	7092.072	Fetch Limited	OK	-	0.065	1.273	-	-	Non Fully Developed	0.065	1.209		
9	2.492	2.183	21600	U	4505.321	30372.772	Non Fully Developed	6758.352	Fetch Limited	OK	-	0.075	1.336	-	-	Non Fully Developed	0.075	1.269		
10	2.768	2.484	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	3.421	3.223	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	3.120	2.878	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	3.997	3.904	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	4.523	4.545	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	3.571	3.398	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	1.436	1.108	21600	U	4505.321	75002.708	Fully Developed	0.000	-	-	-	-	-	0.030	0.919	Fully Developed	0.030	0.873		
17	1.310	0.990	21600	U	4505.321	87175.217	Fully Developed	0.000	-	-	-	-	-	0.024	0.821	Fully Developed	0.024	0.780		
18	1.738	1.401	21600	U	4505.321	54849.769	Non Fully Developed	7834.538	Fetch Limited	OK	-	0.048	1.152	-	-	Non Fully Developed	0.048	1.095		
19	3.663	3.505	21600	T	345891.694	291748.492	Fully Developed	0.000	-	-	-	-	-	0.305	2.907	Fully Developed	0.305	2.761		
20	3.446	3.252	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	2.567	2.264	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	5.274	5.489	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	6.573	7.196	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	2.793	2.512	21600	U	4505.321	25186.737	Non Fully Developed	6449.302	Fetch Limited	OK	-	0.086	1.400	-	-	Non Fully Developed	0.086	1.330		
25	1.587	1.253	21600	U	4505.321	63662.108	Non Fully Developed	8131.861	Fetch Limited	OK	-	0.043	1.110	-	-	Non Fully Developed	0.043	1.055		
26	4.098	4.024	21600	BL	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	3.849	3.726	21600	T	345891.694	268946.083	Fully Developed	0.000	-	-	-	-	-	0.344	3.089	Fully Developed	0.344	2.935		
28	2.065	1.732	21600	U	4505.321	41344.980	Non Fully Developed	7300.043	Fetch Limited	OK	-	0.059	1.237	-	-	Non Fully Developed	0.059	1.175		
29	1.486	1.156	21600	U	4505.321	70883.259	Non Fully Developed	8353.253	Fetch Limited	OK	-	0.040	1.081	-	-	Non Fully Developed	0.040	1.027		
30	3.496	3.310	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	4.899	5.013	21600	B	0.000	0.000	-	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sumber: Perhitungan, 2018



Keterangan:

- [1] Tanggal (1-31 untuk bulan Januari).
- [2] Data angin rerata.
- [3] Data Tegangan angin  $U_A$  maksimum yang didapat dari perhitungan sebelumnya.
- [4] Untuk keperluan peramalan gelombang, data lama hembus disarankan menggunakan kecepatan angin maksimum dengan lama hembus selama 6 jam (Anonim, 2004)
- [5] Data arah mata angin
- [6]  $F_{\text{eff}} = \text{fetch}$  efektif yang didapat dari perhitungan sebelumnya (dalam m)
- [7] Cek *Fully/ Non Fully Developed Seas* dengan menggunakan Persamaan (2.17)

$$\text{Cek} = 68,8 \cdot \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3}$$

- [8] Jika nilai yang diberikan pada perhitungan [7]  $\leq 7,15 \times 10^4$  maka tergolong *Non Fully Developed Seas*, jika  $> 7,15 \times 10^4$  maka tergolong *Fully Developed Seas*.
- [9] Kolom [9] dan [10] digunakan untuk menghitung kondisi gelombang *non fully developed sea*, baik untuk kondisi *fetch limited* atau *duration limited* menggunakan Persamaan (2.17)

$$t_c = 68,8 \cdot \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \cdot \frac{U_A}{g}$$

- [10] Jika nilai  $t_c$  yang didapat  $\leq t$  maka tergolong *Fetch Limited* jika tidak tergolong *duration limited*.

- [9]  $\leq$  [3]  $\rightarrow$  *fetch limited*

- [9]  $>$  [3]  $\rightarrow$  *duration limited*

- [11] Cek kondisi batas, jika [9]  $\leq 21600$  (6 jam) maka termasuk *Non Fully Developed*, apabila termasuk *Fetch Limited* maka ditulis "OK", jika *duration limited* ditulis "TIDAK".

- [12] Kolom [12] sampai [14] digunakan untuk menghitung  $F_{\text{min}}$ ,  $H_{m0}$ , dan  $T_p$  untuk *non fully developed*.

$$F_{\text{min}} = \left( \frac{gt}{68,8 U_A^2} \right)^{3/2} \cdot \frac{U_A^2}{g}$$

[13] Untuk kondisi *fetch limited* menggunakan rumus:

$$H_{m0} = 0,0016 \frac{U_A^2}{g} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

Untuk kondisi *duration limited* menggunakan rumus:

$$H_{m0} = 0,0016 \frac{U_A^2}{g} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

[14] Untuk kondisi *fetch limited*

$$T_p = 0,2857 \frac{U_A}{g} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

Untuk kondisi *duration limited*

$$T_p = 0,2857 \frac{U_A}{g} \left( \frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

[15] Kolom [15] dan [16] digunakan untuk menghitung  $H_{m0}$  dan  $T_p$  untuk kondisi *fully developed sea*.

$$H_{m0} = 0,2433 \frac{U_A^2}{g}$$

[16] Penghitungan  $T_p$  pada kondisi *fully developed sea* dapat menggunakan rumus:

$$T_p = 8,134 \frac{U_A}{g}$$

[17] Kolom [17] sampai [19] merupakan rekapitulasi hasil perhitungan dengan kondisi gelombang yang telah dihitung tergantung persyaratan kondisional yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.

[18] Apabila [17] = *non fully developed sea* maka [18] = [13]

Sedang apabila [17] = *fully developed sea* maka [18] = [15]

[19]  $T_s = 0.95 T_p$

Apabila [17] = *non fully developed sea* maka [19] = 0.95 [14]

Sedang apabila [17] = *fully developed sea* maka [19] = 0.95 [16]

#### 4.4 Analisis Gelombang Rencana

Frekuensi gelombang-gelombang besar dapat mempengaruhi kondisi bangunan pantai. Tinggi gelombang yang cukup memadai dapat digunakan untuk analisis bangunan pantai untuk tujuan tertentu yang telah ditetapkan. Dalam penentuan tinggi gelombang, dipakai analisis frekuensi dengan kala ulang tertentu. Prediksi gelombang dengan periode

ulang tertentu menggunakan dua metode distribusi, yaitu distribusi Gumbel (Fisher-Tippet Tipe I) dan distribusi Weibull. Hasil terbaik dari uji coba kedua metode distribusi tersebut dipilih untuk digunakan analisis selanjutnya.

Langkah-langkah untuk perhitungan analisis gelombang rencana adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari pembangkitan gelombang pada Januari 2000 – Desember 2009 dipilih dipilih tinggi gelombang maksimum tahunan tiap arah mata angin sesuai sesuai *Fetch*, sehingga diperoleh jumlah tinggi gelombang maksimum tahunan sebanyak 10 tahun.
2. Data tinggi gelombang maksimum tahunan diurutkan dari tinggi gelombang terbesar hingga terkecil kemudian dilakukan analisis menggunakan metode distribusi Fisher-Tippet I dan Weibull.
3. Mencari nilai probabilitas tiap tinggi gelombang.
4. Menghitung parameter A dan B dari metode kuadrat terkecil dari masing-masing tipe distribusi yang digunakan.
5. Analisis frekuensi tinggi gelombang rencana untuk berbagai periode ulang.
6. Pemilihan distribusi yang sesuai untuk perkiraan interval keyakinan.

Tabel 4.11 Data Tinggi Gelombang signifikan Tahunan

Tahun	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Bulan	Mei	Februari	Juni	Juni	Juli	September	Juni	Juni	Agustus	Juli
Tanggal	30	26	9	12	16	1	21	13	2	6
$H_{m0}$	1.676	3.302	1.615	1.568	1.961	1.999	2.813	2.207	2.671	2.421
$T_s$	6.474	9.089	6.357	6.263	7.004	7.072	8.389	7.430	8.174	7.783

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.12 Perhitungan gelombang dengan periode ulang metode Fisher-Tippet I menggunakan data maksimum tahunan

No.	Tahun	$H_{s_m}$	P	$y_m$	$H_{s_m}y_m$	$y_m^2$	$(H_{s_m} - \bar{H}_r)^2$	$\bar{H}_{s_m}$	$H_{s_m} - \bar{H}_{s_m}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	2001	3.302	0.945	2.866	9.465	8.214	1.165	3.339	-0.037
2	2006	2.813	0.846	1.787	5.027	3.194	0.348	2.822	-0.009
3	2008	2.671	0.747	1.232	3.291	1.518	0.200	2.555	0.115
4	2009	2.421	0.648	0.836	2.024	0.699	0.039	2.365	0.057
5	2007	2.207	0.549	0.513	1.131	0.263	0.000	2.210	-0.003
6	2005	1.999	0.451	0.227	0.453	0.051	0.050	2.072	-0.073
7	2004	1.961	0.352	-0.044	-0.086	0.002	0.069	1.942	0.018
8	2000	1.676	0.253	-0.318	-0.533	0.101	0.300	1.811	-0.135
9	2002	1.615	0.154	-0.626	-1.011	0.392	0.369	1.663	-0.048
10	2003	1.568	0.055	-1.063	-1.666	1.129	0.430	1.453	0.114
Jumlah		22.232	5.000	5.410	18.095	15.564	2.970		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Keterangan :

[1] Nomor urut data ke-m

[2] Tahun data ke-m

[3]  $H_{sm}$  = data tinggi gelombang signifikan ke-m

[4]  $P$  = probabilitas untuk Fisher-Tippet I

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12} \rightarrow P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{(1) - 0,44}{10 + 0,12}$$

$$[5] y_m = -\ln\{-\ln P(H_s \leq H_{sm})\} \rightarrow y_m = -\ln\{-\ln(4)\}$$

$$[6] H_{sm} y_m \rightarrow (3) * (5)$$

$$[7] y_m^2 \rightarrow (5)^2$$

$$[8] (H_{sm} - H_r)^2 \rightarrow [(3) - H_r]^2$$

$H_r$  = rerata (3)

$$[9] \hat{H}_{sm} = A y_m + B$$

$$\sigma H_s = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - H_r)^2 \right]^{1/2} \rightarrow \sigma H_s = \left[ \frac{1}{10-1} (8)^2 \right]^{1/2}$$

$$A = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \rightarrow A = \frac{10(18,095) - [(22,232)(5,410)]}{10(15,564) - (5,410)^2}$$

$$B = H_r - A y_{m \text{ rerata}} \rightarrow B = 2,223 - (0,480)(0,541)$$

$$\text{Jadi : } \hat{H}_{sm} = 0,480 y_m + 1,963$$

$$[10] (3) - (9)$$

Tabel 4.13 Gelombang dengan periode tertentu metode Fisher-Tippet I

Kala Ulang	$y_r$	$H_s$	$\sigma_{nr}$	$\sigma_r$	$H_s - 1,28\sigma_r$	$H_s + 1,28\sigma_r$
(tahun)	(tahun)	(m)			(m)	(m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2	0.367	2.139	0.337	0.194	1.892	2.387
5	1.500	2.684	0.571	0.328	2.264	3.103
10	2.250	3.044	0.780	0.448	2.470	3.618
25	3.199	3.499	1.062	0.610	2.718	4.280
50	3.902	3.837	1.277	0.733	2.898	4.775
100	4.600	4.172	1.492	0.857	3.075	5.269

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Keterangan:

[1] Periode ulang

$$[2] y_r = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{LT_r}\right)\right\} \rightarrow y_r = -\ln\left\{-\ln\left(1 - \frac{1}{1(1)}\right)\right\}$$

$$[3] 0,480y_r + 1,963$$

$$[4] \sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + \alpha (y_r - c + \varepsilon \ln v)^2 \right]^{1/2}$$

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3} + \kappa \sqrt{-\ln v}} \rightarrow \alpha = 0,64 e^{9,10^{-1,3} + 0,93 \sqrt{-\ln 1}} = 1,0048$$

$$\rightarrow \sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{10}} \left[ 1 + 1,0048 ((0,367) - 0 + 1,33 \ln 1)^2 \right]^{1/2}$$

$$[5] \sigma H_s \times (4)$$

$$[6] (3) - 1,28(5)$$

$$[7] (3) + 1,28(5)$$

Selanjutnya adalah perhitungan menggunakan metode Weibull dengan nilai  $k=0,75$ .

Tabel 4.14 Perhitungan gelombang dengan periode ulang metode Weibull menggunakan data maksimum tahunan

No.	Tahun	$H_{sm}$	P	$y_m$	$H_{sm}y_m$	$y_m^2$	$(H_{sm} - H_r)^2$	$\hat{H}_{sm}$	$H_{sm} - \hat{H}_{sm}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
1	2001	3.302	0.953	4.452	14.703	19.823	1.165	3.521	-0.218
2	2006	2.813	0.858	2.437	6.855	5.939	0.348	2.722	0.091
3	2008	2.671	0.762	1.621	4.329	2.627	0.200	2.399	0.272
4	2009	2.421	0.667	1.134	2.745	1.285	0.039	2.206	0.216
5	2007	2.207	0.571	0.801	1.768	0.641	0.000	2.074	0.133
6	2005	1.999	0.476	0.558	1.115	0.311	0.050	1.978	0.021
7	2004	1.961	0.380	0.374	0.733	0.140	0.069	1.905	0.056
8	2000	1.676	0.284	0.232	0.389	0.054	0.300	1.849	-0.173
9	2002	1.615	0.189	0.124	0.201	0.015	0.369	1.806	-0.190
10	2003	1.568	0.093	0.045	0.071	0.002	0.430	1.774	-0.207
Jumlah		22.232	5.234	11.779	32.909	30.839	2.970		

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Keterangan:

[1] Data nomor urut ke-m

[2] Tahun data ke-m

[3]  $H_{sm}$  = data tinggi gelombang signifikan ke-m

[4] P = probabilitas untuk Weibull

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{\kappa}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{\kappa}}} \rightarrow 1 - \frac{(1) - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{0,75}}}{10 + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{0,75}}}$$

$$[5] y_m = [-\ln\{1 - P(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/\kappa} \rightarrow y_m = [-\ln\{1 - (4)\}]^{1/0,75}$$

$$[6] H_{sm}y_m \rightarrow (3) * (5)$$

$$[7] y_m^2 \rightarrow (5)^2$$

$$[8] (H_{sm} - H_r)^2 \rightarrow [(3) - H_r]^2$$



$H_r = \text{rerata (3)}$

[9]  $\hat{H}_{s_m} = Ay_m + B$

$$\sigma H_s = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Hs_m - Hr)^2 \right]^{1/2} \rightarrow \sigma H_s = \left[ \frac{1}{13-1} (8)^2 \right]^{1/2}$$

$$A = \frac{n \sum Hs_m y_m - \sum Hs_m \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \rightarrow A = \frac{10(32,909) - [(22,232)(11,779)]}{10(30,839) - (11,779)^2}$$

$$B = Hr - Ay_{m \text{ rerata}} \rightarrow B = 2,223 - (0,396)(1,178)$$

Jadi :  $\hat{H}_{s_m} = 0,396y_m + 1,757$  (dengan nilai  $A = 0,396$  dan  $B = 1,757$ )

[10] (3) - (9)

Tabel 4.15 Gelombang dengan periode tertentu metode Weibull

Periode Ulang	$y_r$	$Hs_r$	$\sigma_{nr}$	$\sigma_r$	$Hs-1,28\sigma_r$	$Hs+1,28\sigma_r$
(tahun)	(tahun)	(m)			(m)	(m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2	0.613	2.000	0.458	0.263	1.663	2.336
5	1.886	2.504	1.067	0.613	1.719	3.289
10	3.041	2.961	1.674	0.961	1.731	4.192
25	4.753	3.640	2.588	1.487	1.737	5.543
50	6.164	4.199	3.347	1.923	1.738	6.660
100	7.662	4.792	4.153	2.386	1.738	7.846

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Keterangan:

[1] Periode ulang

[2]  $y_r = \{\ln(LT_r)\}^{1/\kappa} \rightarrow y_r = \{\ln(1(1))\}^{1/0,75}$

[3]  $0,396y_r + 1,757$

[4]  $\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + \alpha(y_r - c + \varepsilon \ln v)^2 \right]^{1/2}$

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3} + \kappa \sqrt{-\ln v}} \rightarrow \alpha = 1,65 e^{(11,4) \cdot 10^{-1,3} + (-0,63) \sqrt{-\ln 1}} = 2,922$$

$$\rightarrow \sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{10}} \left[ 1 + 2,922((2) - 0 + 1,15 \ln 1)^2 \right]^{1/2}$$

[5]  $\sigma H_s \times (4)$

[6]  $(3) - 1,28(5)$

[7]  $(3) + 1,28(5)$

Selanjutnya hasil dari analisis gelombang rencana menggunakan metode distribusi Fisher-Tippet I dan Weibull digunakan untuk pemilihan distribusi yang mendekati data tinggi gelombang signifikan. Pemilihannya yaitu dengan menentukan nilai kesalahan absolut rerata (KAR) pada masing-masing distribusi. Nilai KAR didapatkan dari hasil perbandingan antara tinggi gelombang data dengan tinggi gelombang hasil distribusi. Distribusi yang digunakan adalah distribusi yang memiliki nilai KAR lebih sedikit. Dalam Tabel 4.16 dijelaskan perhitungan nilai kesalahan absolut rerata (KAR) dari kedua metode distribusi.

Tabel 4.16 Perhitungan nilai kesalahan absolut rerata

No.	Tahun	Hs <sub>m</sub>	$\hat{H}_{s_m}$ FT-1	$\hat{H}_{s_m}$ Weibull	KA FT-1 (%)	KA Weibull (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1	2001	3.302	3.339	3.521	1.123	6.611
2	2006	2.813	2.822	2.722	0.311	3.223
3	2008	2.671	2.555	2.399	4.325	10.178
4	2009	2.421	2.365	2.206	2.335	8.902
5	2007	2.207	2.210	2.074	0.125	6.025
6	2005	1.999	2.072	1.978	3.667	1.073
7	2004	1.961	1.942	1.905	0.934	2.862
8	2000	1.676	1.811	1.849	8.073	10.332
9	2002	1.615	1.663	1.806	2.950	11.788
10	2003	1.568	1.453	1.774	7.302	13.183
<b>Kesalahan Absolut Rerata (%)</b>					<b>3.114</b>	<b>7.418</b>

Sumber: Perhitungan, 2017

Keterangan :

- |               |                                       |                                       |
|---------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Nomor Urut | 4. Data                               | 7. $\{ABS[(3)-(5)]/(3)\} \cdot 100\%$ |
| 2. Data       | 5. Data                               |                                       |
| 3. Data       | 6. $\{ABS[(3)-(4)]/(3)\} \cdot 100\%$ |                                       |

Dari Tabel 4.17 distribusi *Fisher Tippet I* memiliki nilai kesalahan absolut rerata (KAR) lebih kecil yaitu 3,114%, sehingga dapat diketahui hasil perhitungan tinggi gelombang dengan distribusi *Fisher Tippet I* lebih mendekati tinggi gelombang data jika dibandingkan distribusi Weibull. Jadi untuk analisis gelombang rencana metode distribusi yang digunakan adalah metode distribusi *Fisher Tippet*. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk tiap-tiap arah mata angin sesuai *fetch* menggunakan metode distribusi terbaik. Perhitungan untuk tiap arah mata angin diberikan pada Lampiran IV. Rekapitulasi perhitungan kala ulang tinggi gelombang tiap-tiap arah mata angin disajikan pada Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4.17 Rekapitulasi perhitungan tinggi gelombang tiap arah mata angin dengan berbagai periode ulang dengan metode *Fisher Tippet I*

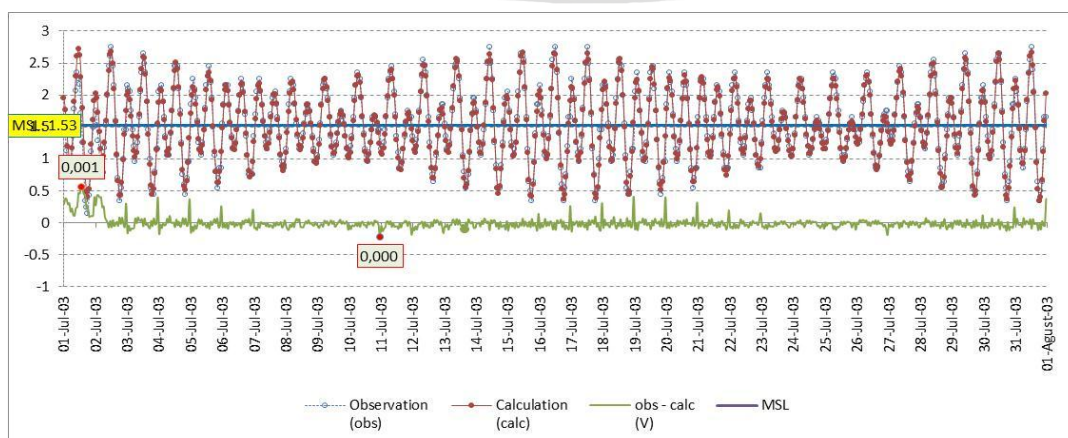
Periode Ulang	Hs <sub>r</sub> Utara	Hs <sub>r</sub> Timur Laut	Hs <sub>r</sub> Timur	Hs <sub>r</sub> Tenggara
(tahun)	(m)	(m)	(m)	(m)
2	0.117	0.210	1.828	2.013
5	0.140	0.377	2.188	2.660
10	0.156	0.488	2.427	3.088
25	0.175	0.628	2.728	3.630
50	0.190	0.732	2.952	4.031
100	0.204	0.835	3.173	4.430

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

#### 4.5 Analisis Data Pasang Surut

Data pasang surut merupakan data pengamatan muka air laut yang dilakukan di Pantai Nusa Dua, Bali selama satu tahun pada tahun 2003 yang terdapat pada Lampiran V. Dikarenakan simulasi dilakukan untuk tahun 2015 maka data pasang surut hasil pengamatan harus diperpanjang terlebih dahulu dengan menggunakan metode *least square* (metode kuadrat terendah). Analisis data pasang surut menggunakan metode *least square* bertujuan untuk mendapatkan sembilan bilangan *constituents*, bilangan ini nantinya digunakan untuk menghitung parameter-parameter pasang surut.

Adapun perhitungan metode *least square* dibantu dengan *software Microsoft Excel*, dengan mencari sembilan bilangan *constituents* pada tahap awal. Hasil peramalan kemudian dibandingkan dengan pengamatan di lapangan untuk melihat kesesuaiannya. Dari hasil perhitungan metode *least square* didapatkan hasil peramalan selama 92 hari yang kemudian dibandingkan dengan data di lapangan dengan waktu mulai pada bulan juli 2003. Perbandingan data asli lapangan dengan hasil peramalan dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan data pasang surut hasil pengamatan dengan hasil peramalan *least square method* pada waktu yang sama.

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Dari perbandingan di atas dapat dilihat bahwa data hasil peramalan dengan menggunakan metode *least square* relevan untuk digunakan mencari elevasi-elevasi penting pasang surut. Pengerjaan dilanjutkan dengan perhitungan parameter pasang surut. Nilai-nilai konstituen dan elevasi-elevasi penting hasil peramalan pasang surut untuk masa 20 tahun diberikan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Tabel amplitudo dan fasa konstituen hasil perhitungan *least square method*.

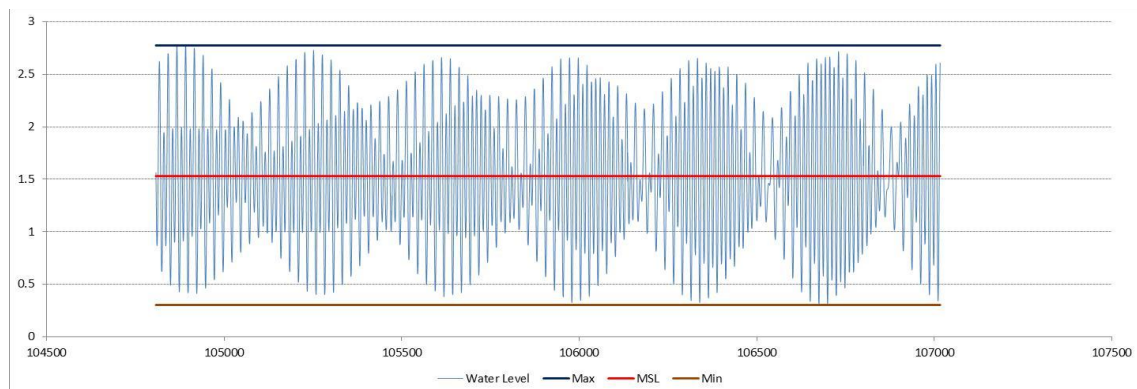
No	Constituents	Symbol	Description	Formula	Speed deg/hour	$\omega$ rad/hour	Amplitude (H) m	Phase ( $\Theta$ )	
								deg	radian
0	Average water level	Z0				0.0000	1.5292	0.0000	0.0000
1	Main lunar constituent	M2	semi diurnal	$2*T-2*S+2*h$	28.9841	0.5059	0.6532	3.0374	0.0530
2	Main solar constituent	S2		$2*T$	30.0000	0.5236	0.3400	342.5985	5.9795
3	Lunar constituent, due to Earth-Moon distance	N2		$2*T-3*S+2*h+p$	28.4397	0.4964	0.0118	108.2234	1.8889
4	Soli-lunar constituent, due to the change of declination	K2		$2*T+2*h$	30.0821	0.5250	0.1735	160.0557	2.7935
5	Soli-lunar constituent	K1	diurnal	$T+h$	15.0411	0.2625	0.2889	223.5233	3.9012
6	Main lunar constituent	O1		$T-2*S+h$	13.9430	0.2434	0.1332	214.3394	3.7409
7	Main solar constituent	P1		$T-h$	14.9589	0.2611	0.0619	196.8554	3.4358
8	Main lunar constituent	M4	quarterly	$2*M2$	57.9682	1.0117	0.0020	355.1452	6.1985
9	Soli-lunar constituent	MS4		$M2+S2$	58.9841	1.0295	0.0101	281.3499	4.9105

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Dari persamaan Formzhal nilai F yang didapatkan adalah sebesar  $F = 0,425$ , sehingga jenis pasang surut di pantai Nusa Dua adalah pasang surut campuran terutama semidiurnal. Berarti dalam 1 hari terjadi 2 kali air pasang dan 2 kali surut dengan ketinggian yang berbeda. Kemudian pengerjaan dilanjutkan pada perhitungan elevasi pasang surut dengan menggunakan persamaan:

$$ht_i = Z_0 + \sum_{n=1}^n H_n \cos(\omega_n t_i + \theta_n)$$

Sehingga dapat digambarkan data pasang surut di pantai Nusa Dua, Bali pada musim kemarau (Juli 2015 - September 2015) dan musim hujan (Oktober 2015 – Januari 2016) seperti grafik di bawah ini:



Gambar 4.10 Grafik data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada Musim Kemarau (Juli 2015 – September 2015)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

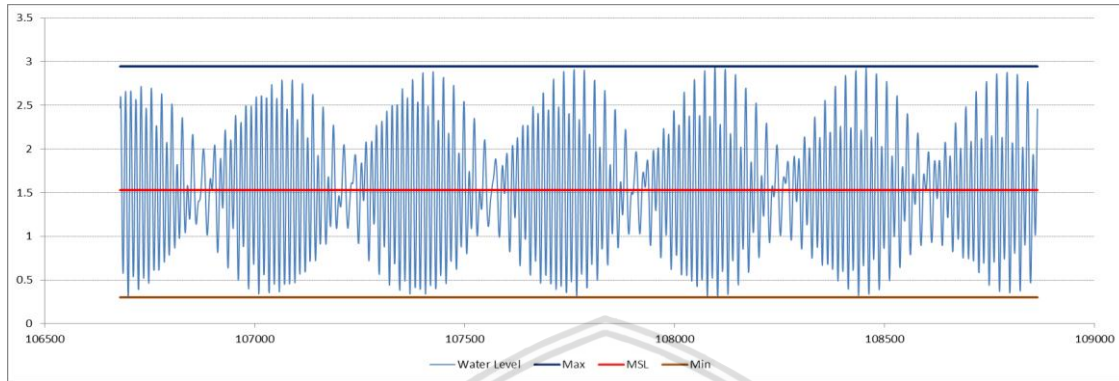


Dari grafik pasang surut diatas diperoleh elevasi-elevasi penting sebagai berikut:

$$\text{HHWL} = 2,775 \text{ m}$$

$$\text{MSL} = 1,529 \text{ m}$$

$$\text{LLWL} = 0,302 \text{ m}$$



Gambar 4.11 Grafik data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada Musim Hujan (Oktober 2015 – Januari 2016)

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Dari grafik pasang surut diatas diperoleh elevasi-elevasi penting sebagai berikut:

$$\text{HHWL} = 2,946 \text{ m}$$

$$\text{MSL} = 1,529 \text{ m}$$

$$\text{LLWL} = 0,302 \text{ m}$$

#### 4.6 Analisis Kondisi Pantai

Analisis kondisi pantai dilakukan untuk menentukan lokasi pantai Nusa Dua yang paling membutuhkan penanganan. Dalam penelitian ini analisis kondisi pantai dilakukan dalam tiga hal, yaitu : analisa monitoring perubahan volume pasir, analisa menggunakan program statistika *IBM SPSS Statistics 24*, dan analisa menggunakan pedoman penilaian kerusakan pantai sesuai dengan peraturan dinas pekerjaan umum No. 08/SE/M/2010.

##### 4.6.1 Analisis Monitoring Perubahan Volume Pasir

Proses erosi dan sedimentasi menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai sehingga berpengaruh juga terhadap perubahan volume pasir pantai. Pesisir pantai yang terus mengalami proses erosi menyebabkan pasir pantai pada wilayah tersebut semakin lama akan semakin habis sehingga menyebabkan kemunduran garis pantai, begitu pula sebaliknya pesisir pantai yang terus mengalami sedimentasi maka pasir pantai pada wilayah tersebut semakin lama akan semakin bertambah sehingga menyebabkan kemajuan garis pantai. Pada Pantai Nusa Dua pasir pantai pada tiap-tiap segmen groin terus



berkurang sehingga perlu dilakukan monitoring perubahan volume pasir secara berkala. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Monitoring Perubahan Volume Pasir GN. 2 – G. 12

No Line	Des-03	Sand volume by time monitoring						
		Des07-Des03	Jun08-Des03	Jul11-des03	Oct11-des03	Mei12-des03	Juli12-des03	Juli15-des03
2	5434.154	-2145.041	-2025.908	-1380.144	-1519.694	-1395.872	-1742.552	-1606.644
3B	10157.068	-3456.287	-3197.589	-2644.491	-2868.150	-2819.729	-3144.419	-2422.209
5B	9992.577	-2465.674	-2245.431	-2515.376	-2620.211	-2587.607	-2821.584	-1875.939
7B	9774.755	-1443.128	-410.943	-673.379	-578.026	-674.242	-815.012	-491.916
10	6858.723	-48.768	523.236	653.471	643.401	517.320	556.914	131.786
11B	10698.864	-350.107	-452.486	83.570	158.316	-231.079	-20.088	-785.318
13B	11517.668	-1471.974	-1531.990	-932.296	-886.209	-1190.479	-1033.063	-1516.880
15B								
	64433.810							
	<b>Sand Loss</b>	-11380.979	-9341.112	-7408.645	-7670.572	-8381.688	-9019.804	-8567.119
	<b>Percent Loss</b>	-18%	-14%	-11%	-12%	-13%	-14%	-13%

Sumber: Hasil Monitoring, 2015

Untuk perhitungan selanjutnya terdapat pada Lampiran VI.

Hasil monitoring perubahan volume pasir menunjukkan pada segmen groin GN. 2 – G. 12 terus berkurang pada tiap periodenya, yaitu rata-rata sekitar 13,695%.

#### 4.6.2 Analisis Statistika Perubahan Garis Pantai

Agar data hasil monitoring dapat terdeskripsikan dengan baik sehingga dapat memudahkan dalam analisa kondisi tiap tiap segmen groin maka perlu dilakukan analisis statistika menggunakan program *IBM SPSS Statistics 24*. Dalam analisis perubahan garis pantai digunakan analisis statistika deskriptif untuk mengetahui gambaran atau penyebaran data tiap sampel. Analisis statistika deskriptif menghasilkan frekuensi statistik sebagai berikut

##### 1. *Mean*

*Mean* merupakan nilai yang paling banyak digunakan sebagai ukuran pusat kejadian.

Nilai mean dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{x} = \frac{\sum X}{n}$$

Sehingga pada segmen groin UG.1 – GN.2 bulan Januari 2004 perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\bar{X} &= \frac{7,67+24,20+(-3,10)+(-8,70)+(-9,10)+(-7,40)+(-7,60)+(-0,70)+11,80+13,60}{10} \\ &= 2,067\end{aligned}$$

## 2. Median

Median atau nilai tengah adalah salah satu ukuran pemusatan data, yaitu jika segugus data diurutkan dari yang terkecil sampai yang terbesar atau yang terbesar sampai yang terkecil, nilai pengamatan yang tepat di tengah-tengah bila jumlah datanya ganjil, atau rata-rata kedua pengamatan yang di tengah bila banyaknya pengamatan genap. Untuk segmen groin UG.1 – GN.2 bulan Januari 2004 karena jumlah data pengamatan genap maka menggunakan rumus:

-9,1	-8,7	-7,6	-7,4	-3,1	-0,7	7,6677	11,8	13,6	24,2
------	------	------	------	------	------	--------	------	------	------

$$\begin{aligned}
 Me = Q_2 &= \frac{X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1}}{2} \\
 &= \frac{(-3,1) + (-0,7)}{2} \\
 &= -1,900
 \end{aligned}$$

## 3. Mode

Mode adalah nilai yang sering muncul. Penentuan mode hampir sama dengan median yaitu dengan mengurutkan data dari yang terkecil hingga terbesar atau sebaliknya, kemudian dihitung masing-masing angka yang muncul.

Pada segmen groin UG.1 – GN.2 bulan Januari 2004 karena tidak terdapat data pengamatan yang sama maka pada segmen tersebut tidak memiliki mode akan tetapi pada program *IBM SPSS Statistics 24* dituliskan nilai yang terkecil, maka:

7,6677	24,2	-3,1	-8,7	-9,1	-7,4	-7,6	-0,7	11,8	13,6
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

$$Mo = -9,100$$

## 4. Standard Deviation (Standar Deviasi)

Standar Deviasi adalah nilai statistik yang digunakan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, dan seberapa dekat titik data individu ke nilai rata-rata. Apabila standar deviasi dari kumpulan data sama dengan nol menunjukkan bahwa semua nilai-nilai dalam himpunan tersebut adalah sama, akan tetapi jika nilai dari standar deviasi lebih besar maka akan memberikan makna bahwa titik data individu jauh dari nilai rata-rata. Pada segmen groin UG.1 – GN.2 bulan Januari 2004 contoh perhitungan standar deviasi adalah:

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \\
 &= \sqrt{\frac{1207,06401}{10-1}} \\
 &= 11,581
 \end{aligned}$$

### 5. *Variance* (Varian)

Dalam distribusi data nilai varian digunakan untuk mengukur dan mengetahui tingkat keragaman penyebaran data. Semakin tinggi nilai varian maka data tersebut semakin beragam dan bervariasi. Nilai varian sama dengan nilai standar deviasi yang belum diakar kuadratkan, maka perhitungan nilai varian pada segmen groin UG.1 – GN.2 bulan Januari 2004 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1} \\ &= \frac{1207,06401}{10-1} \\ &= 134,118 \end{aligned}$$

### 6. *Skewness* (Kecondongan)

*Skewness* digunakan sebagai pengukuran tingkat ketidaksimetrisan (kecondongan) sebaran data disekitar rata-ratanya. Nilai *skewness* = 0 maka data tersebut termasuk dalam distribusi normal, jika nilai *skewness* adalah positif maka ujung dari kecondongan menjulur ke arah nilai positif dan sebaliknya kecondongan akan menjulur ke arah negatif apabila nilai *skewness* adalah negatif. Rumus untuk menentukan nilai *skewness* adalah sebagai berikut:

$$Skewness = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum \left[ \frac{X_i - \bar{X}}{s} \right]^3$$

Perhitungan nilai *skewness* pada segmen groin UG.1 – GN.2 bulan Januari 2004 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Skewness &= \frac{10}{(10-1)(10-2)} \cdot 5,7456 \\ &= 0,798 \end{aligned}$$

### 7. *Standard Error of Skewness*

*Standard error* yang ditampilkan sebagai output dalam program *IBM SPSS Statistics* 24 adalah standar eror dari nilai kecondongan (*Standard Error of Skewness*). Pengukuran ini digunakan untuk mengetahui seberapa jauh nilai kecondongan dari satu sampel ke sampel yang lainnya yang diambil dari distribusi yang sama.

$$\begin{aligned} SE. Skewness &= \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} \\ &= \sqrt{\frac{610(10-1)}{(10-2)(10+1)(10+3)}} \\ &= 0,687 \end{aligned}$$

### 8. Range (Rentang)

*Range* atau yang dapat juga disebut jangkauan merupakan selisih antara nilai maksimum dan nilai minimum. Nilai range untuk segmen groin UG. 1 – GN. 2 dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$\begin{aligned} R &= X_{\max} - X_{\min} \\ &= 24,200 - (-9,100) \\ &= 33,300 \end{aligned}$$

### 9. Nilai Minimum dan Nilai Maksimum

Sekelompok data kuantitatif memiliki data dengan nilai terbesar dan data dengan nilai terkecil. Data dengan nilai terbesar disebut dengan nilai maksimum, sedangkan data dengan nilai terkecil disebut dengan nilai minimum. Agar lebih mudah mengetahui nilai maksimum dan nilai minimum maka sebaiknya data kuantitatif diurutkan terlebih dahulu dari yang terkecil hingga terbesar atau sebaliknya. Pada segmen groin UG. 1 – GN. 2 bulan Januari 2004 dapat diketahui data sebagai berikut :

7,6677	24,2	-3,1	-8,7	-9,1	-7,4	-7,6	-0,7	11,8	13,6
--------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Setelah itu data diurutkan dari nilai yang terkecil hingga nilai yang terbesar seperti berikut:

-9,1	-8,7	-7,6	-7,4	-3,1	-0,7	7,6677	11,8	13,6	24,2
------	------	------	------	------	------	--------	------	------	------

Sehingga dapat diketahui :

Nilai minimum = -9,100

Nilai maksimum = 24,200

Untuk perhitungan pada segmen groin UG. 1 - GN. 2 selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Analisa Perhitungan Statistika Pada Segmen Groin UG. 1 – GN. 2

		Statistics										
N	Valid	Jan-04	Nov 04	Jan-05	Nov 05	Jun-06	Jan-07	Dec 07	Jun-08	Oct 11	Jul-12	Jul-15
	Missing	10	8	8	7	7	7	4	4	4	4	4
		0	2	2	3	3	3	6	6	6	6	6
	Mean	2,067	-3,575	-2,713	-3,571	-3,571	-3,571	0,005	-0,278	-1,865	-3,620	-7,830
	Median	-1,900	-6,950	-9,450	-7,300	-7,300	-7,300	-12,090	-12,695	-14,110	-16,830	-16,390
	Mode	-9,100	-13,900	-13,900	-14,900	-14,900	-14,900	-17,000	-16,920	-20,440	-22,020	-20,390
	Std. Deviation	11,581	12,459	16,992	14,003	14,003	14,003	27,733	27,854	28,943	30,190	20,134
	Variance	134,118	155,222	288,736	196,076	196,076	196,076	769,118	775,819	837,675	911,415	405,364
	Skewness	0,798	1,857	2,065	1,443	1,443	1,443	1,888	1,916	1,905	1,882	1,807
	Std. Error of Skewness	0,687	0,752	0,752	0,794	0,794	0,794	1,014	1,014	1,014	1,014	1,014
	Range	33,300	37,800	49,700	38,200	38,200	38,200	58,200	58,120	61,640	63,220	42,240
	Minimum	-9,100	-13,900	-13,900	-14,900	-14,900	-14,900	-17,000	-16,920	-20,440	-22,020	-20,390
	Maximum	24,200	23,900	35,800	23,300	23,300	23,300	41,200	41,200	41,200	41,200	21,850

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018

Untuk perhitungan segmen groin selanjutnya terdapat pada Lampiran VII.

Pantai Nusa Dua cenderung mengalami gerusan pada beberapa segmen groin. Dari hasil analisa dengan menggunakan program statistika kondisi perubahan garis pantai yang

paling signifikan terletak pada segmen UG.1 – GN.2. Pada segmen UG.1 – GN.2 garis pantai mengalami kemajuan dan kemunduran maksimal mencapai 41,20 m dan 22,02 m sehingga menghasilkan *range* perubahan garis pantai terbesar apabila dibandingkan dengan segmen yang lain yaitu sebesar 63,22 m.

#### 4.6.3 Analisa Kerusakan Pantai dan Prioritas Penanganannya

Dalam peraturan pemerintah menteri Pekerjaan Umum No. 08/SE/M/2010. Analisis kerusakan pantai dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. Analisis kerusakan pada lingkungan pantai
2. Analisis kerusakan akibat erosi atau abrasi serta kerusakan bangunan
3. Analisis kerusakan akibat berbagai permasalahan yang timbul akibat adanya sedimentasi

Dari data yang tersedia, maka digunakan poin 2 untuk analisis kerusakan pantai Nusa Dua, Bali. Untuk mengkaji kerusakan pantai akibat adanya erosi atau abrasi serta rusaknya bangunan pantai ditinjau dari dua hal yaitu: erosi atau abrasi yang menyebabkan perubahan garis pantai, dan erosi atau abrasi yang menyebabkan gerusan pada fondasi bangunan atau abrasi pada bangunan itu sendiri (kerusakan bangunan). Kemudian hasil dari penilaian dikalikan dengan tingkat kepentingan pantai. Pada Pantai Nusa Dua tingkat kepentingan pantai termasuk dalam skala kepentingan kedua yaitu sebagai kepentingan negara sehingga apabila dilihat dalam Tabel 2.6 koefisien bobot kepentingannya adalah 1,75. Untuk lebih jelasnya maka dapat dilihat pada Tabel 4.21 dibawah ini:

Tabel 4.21 Analisa Kerusakan Pantai Nusa Dua

Lokasi	Point	Rata Rata Perubahan Garis Pantai Tiap Tahun (m)	Kerusakan Pantai			Bobot
			Erosi dan Abrasi	Kerusakan Bangunan	Tingkat Kepentingan	
(1)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
UG.1 - GN.2	26	0.000	0	250	1.75	354.375
	25	7.463	250	250	1.75	
	24	0.975	100	250	1.75	
	23	3.343	250	250	1.75	
	22	1.675	150	250	1.75	
	21	4.125	250	250	1.75	
	20	2.238	200	250	1.75	
	19	2.515	200	250	1.75	
	18	1.163	150	250	1.75	
	17	0	0	250	1.75	
Total			155	250	1.75	

Sumber: Perhitungan, 2017

Keterangan :

- (1) Data (6) Jika kondisi bangunan: >75% maka 50; 50% - 75% maka 100; 25% - 50% dan tidak membahayakan lingkungan maka 150; 25% - 50% dan membahayakan lingkungan maka 200; Rusak parah dan membahayakan 250 (8)  $((5) + (6) / 2) \times (7)$
- (2) Data
- (3) Data
- (4) Jika  $(4) < 0,5$  maka 50; jika  $0,5 < (4) < 1$  maka 100; jika  $1 < (4) < 2$  maka 150; jika  $2 < (4) < 3$  maka 200; jika  $(4) > 3$  maka 250



Perhitungan selanjutnya telah disajikan pada Lampiran VIII.

Berikut ini akan dijelaskan contoh perhitungan pada segmen groin UG.1-GN.2. Diketahui pada segmen groin UG.1-GN.2 point 25 rata-rata perubahan garis pantai tiap tahun sebesar 7,463m, sehingga dapat ditentukan nilai kerusakan sebagai berikut:

1. Kerusakan pantai akibat erosi dan abrasi sebesar 250, karena:  
(4) > 3 maka bobot kerusakan pantai sebesar 250
2. Kerusakan Bangunan jika dilihat dari lokasi studi sudah rusak parah dan membahayakan lingkungan sehingga bobot kerusakan pantai dinilai sebesar 250
3. Tingkat kepentingan pantai memiliki bobot 1,75

Perhitungan tersebut dilakukan pada poin-poin selanjutnya kemudian hasil perhitungan di rata-rata sebagai berikut :

1. Kerusakan Pantai akibat erosi dan abrasi pada UG.1-GN.2

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ kerusakan Bangunan} &= \frac{0+250+100+250+150+250+200+200+150+0}{10} \\ &= 155\end{aligned}$$

2. Kerusakan Pantai Bangunan pada UG.1-GN.2

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ kerusakan Bangunan} &= \frac{250 \times 250 \times 250 \times 250 \times 250 \times 250 \times 250 \times 250 \times 250 \times 250}{10} \\ &= 250\end{aligned}$$

3. Tingkat Kepentingan Pantai pada UG.1-GN.2

$$\begin{aligned}\Sigma \text{ tingkat kepentingan pantai} &= \frac{1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75 \times 1,75}{10} \\ &= 1,75\end{aligned}$$

4. Bobot Kerusakan Pantai

Bobot kerusakan pantai dapat diketahui dari hasil rata-rata nilai kerusakan pantai kemudian dikalikan dengan tingkat kepentingan seperti di bawah ini :

$$\begin{aligned}\text{Bobot} &= \left( \frac{\Sigma \text{ kerusakan pantai} + \Sigma \text{ kerusakan Bangunan}}{2} \right) \times \Sigma \text{ tingkat kepentingan pantai} \\ &= \left( \frac{155+250}{2} \right) \times 1,75 \\ &= 354,375\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa kerusakan pantai paling parah terjadi pada segmen groin UG.1-GN.2 yaitu dengan bobot kerusakan sebesar 354,375. Akan tetapi jika dilihat dari prioritas penanganannya dengan didukung dari kedua analisa sebelumnya maka segmen groin UG.1-GN.2 dan GN.2-G.12 memiliki prioritas penanganan tingkat A (amat sangat diutamakan – darurat) karena memiliki bobot kerusakan >300.

Ketiga hasil analisa diatas menunjukan bahwa di Pantai Nusa Dua, Bali mengalami gerusan pada beberapa segmen groin. Kondisi pantai paling krusial terletak pada segmen groin UG.1 - G.12. Perbandingan hasil analisa ketiga metode untuk menyimpulkan kondisi pantai paling krusial dapat kita lihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4.22 Perbandingan Analisa Kondisi Krusial Pantai dengan Metode Statistika Volume Pasir dan Kerusakan Pantai

No	Segmen	Perubahan Volume Pasir	Analisa Statistika	Analisa Kerusakan Pantai
1	GA.2	-30%	24.900	214.375
2	GA.2 - GN.5	-12%	27.750	164.063
3	GN.5 - GN.6		18.040	169.531
4	GN.6 - GA.3		10.000	218.750
5	GA.3 - GN.4	-4%	20.600	144.375
6	GN.4 - G.TB		18.920	180.469
7	G.TB - GA.8		23.130	212.500
8	GA.8 - G.0	-6%	60.060	155.114
9	G.0 - G.1	-5%	23.510	181.250
10	G.1 - G.4	-3%	8.990	166.250
11	G.4 - G.5	-6%	41.800	206.818
12	G.5 - GN.1	-4%	28.900	185.938
13	GN.1 - G.9	-5%	18.500	160.417
14	G.9 - G.10	-2%	35.020	168.750
15	G.10 - UG.1	-5%	22.300	153.125
16	UG.1 - GN.2	-2%	63.220	354.375
17	GN.2 - G.12	-14%	20.400	321.875
18	G.12 (Nusa Kecil)		14.750	198.333

Sumber: Perhitungan, 2018

Pada Tabel 4.22 warna kuning menunjukkan kondisi pantai yang kurang baik. Hasil analisa volume pasir menunjukkan bahwa terdapat dua segmen yang mengalami pengurangan volume pasir paling besar, yaitu pada segmen GA.2 dan GN.2 – G.12. Akan tetapi pada segmen GA.2 telah dilakukan penanganan, sehingga dalam hal ini dengan melihat hasil dari beberapa analisa lainnya fokus studi dilakukan pada segmen groin UG.1 – G.12.

#### 4.7 Analisis Perubahan Morfologi

Wilayah pantai merupakan suatu wilayah yang berhubungan langsung dengan aktivitas manusia dan fenomena alam. Fenomena alam yang dimaksud antara lain angin, gelombang, badai, hujan serta faktor-faktor alamiah seperti pasang surut dan pemanasan global. Seiring perkembangan waktu tekanan terhadap lingkungan pantai semakin meningkat, sehingga menimbulkan berbagai permasalahan salah satunya adalah perubahan garis pantai. Perubahan garis pantai pada umumnya terjadi sebagai dampak dari adanya

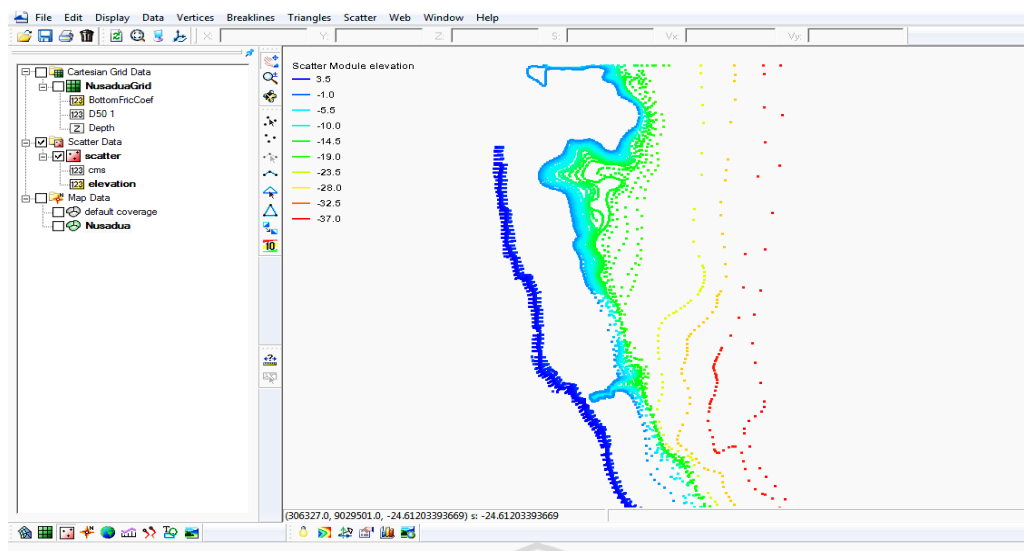
peristiwa erosi dan akresi yang terjadi di daerah pantai. Adanya peristiwa ini mengakibatkan terganggunya aktivitas-aktivitas potensial di kawasan pantai. Maka, untuk meminimalkan dampak yang mungkin terjadi perlu dilakukan studi mengenai prediksi perubahan garis pantai. Terdapat berbagai metode dalam memprediksi perubahan garis pantai. Dari yang paling sederhana yaitu dengan metode numerik hingga metode yang berbasis SIG dan penginderaan jauh. Dalam penelitian ini untuk analisis perubahan morfologi pantai Nusa Dua, Bali digunakan *software SMS Versi 11.0* dengan menggunakan modul *CMS-Flow*.

#### 4.7.1 Pemodelan *CMS-Flow*

*Coastal Modelling System* (CMS) merupakan sistem pemodelan numerik yang terintegrasi untuk simulasi gelombang dekat pantai, arus, tingkat air, transportasi sedimen, dan perubahan morfologi. Wilayah pemodelan (domain) studi dibagi menjadi dua yaitu, domain pertama merupakan domain besar dimana batas kondisi yaitu dari nusa kecil hingga tanjung benoa. Domain yang kedua disebut sebagai domain simulasi dimana batas kondisi hanya pada lokasi studi yang paling krusial. Pada domain awal simulasi dilakukan sebanyak 2 kali, simulasi pertama dilakukan dalam jangka waktu 1 bulan dan simulasi kedua dilakukan dalam jangka waktu 3 bulan. Kemudian untuk domain simulasi, simulasi dilakukan dalam jangka waktu 3 bulan dengan memperhatikan 3 kondisi, yaitu : kondisi tanpa angin, kondisi dengan angin musim hujan, dan kondisi dengan angin musim kemarau.

Dalam pemodelan *CMS-FLOW* dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Koordinat dirubah ke proyeksi UTM sesuai dengan lokasi Pantai Nusa Dua, yaitu zone 50 ( $114^0\text{BT}$  -  $120^0\text{BT}$  lintang utara). Memastikan semua satuan adalah meter.
2. Membuat kontur bathymetri sesuai dengan format file yang dapat dibaca oleh *software SMS* dalam hal ini digunakan file dalam format .dxf. Agar lebih jelas gambar peta bathymetri telah disajikan pada lampiran.
3. Mengconvert kontur bathymetri (*Cad Point*) menjadi *scatter 2D* sehingga pada model ditampilkan titik *scatter* sebagai informasi kedalaman.

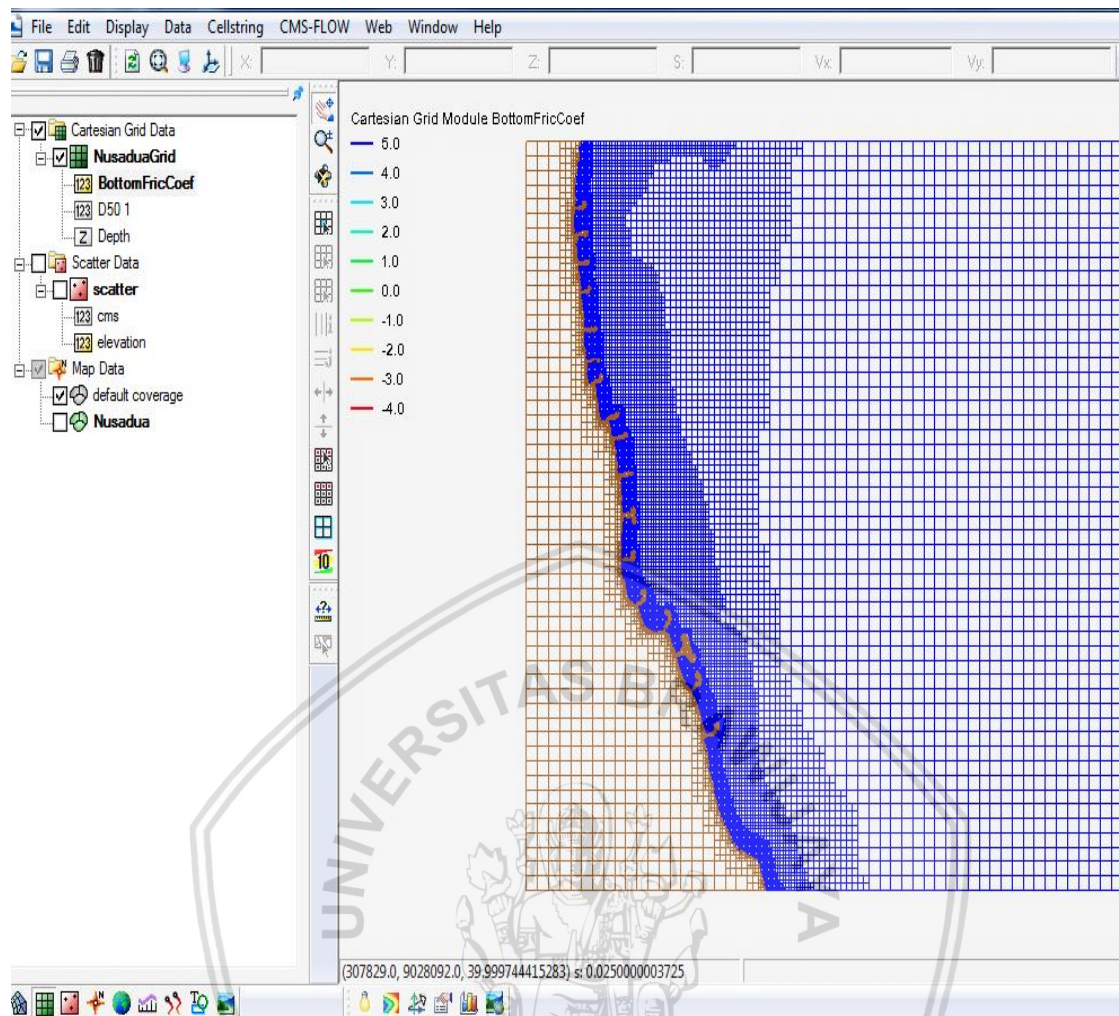


Gambar. 4.12 Visualisasi Scatter Point untuk data kedalaman (bathimetri)

Sumber : Hasil Simulasi, 2018

4. Konversi garis pantai dengan perintah *convert CAD → MAP*
5. Membuat poligon untuk memberikan informasi *land* dan *ocean*, serta membagi ukuran *grid* pada tiap-tiap wilayah. Grid bathimetri yang baik adalah penting dalam pemodelan teknik pantai, hal ini karena propagasi gelombang dipengaruhi oleh kedalaman bathimetri. Dalam pemodelan dipilih grid numeris dengan tipe *telescoping*. Grid *telescoping* dipilih untuk mengoptimalkan sumber daya komputasi. CMS menggunakan multi-level mesh dengan bentuk segiempat *quadtrees* dengan penghalusan lokal. Pada model ini, level kehalusan grid dibuat secara berangsur dimana grid terkecil terletak pada dekat struktur.
6. Kemudian membuat model menjadi *CMS-FLOW* dengan melakukan perintah *Type → Models → CMS-FLOW → CMS-FLOW*
7. Buat *cartesian grid frame* dalam model *CMS-FLOW* dan bangkitkan grid dengan parameter *cell size* pada *cell I* dan *cell J* adalah 80 m. Hal ini mengartikan bahwa ukuran sel grid terbesar adalah 80mx80m.
8. Edit *scatter set* untuk menginterpolasi titik-titik *scatter*. Dalam hal ini digunakan metode interpolasi *inverse distance weighted* yang merupakan metode deterministik sederhana dengan mempertimbangkan titik sekitarnya.
9. Pada model akan ditampilkan grid dengan warna coklat yang menunjukkan daratan dan grid dengan warna biru menunjukkan lautan dengan ukuran grid akan semakin mengecil semakin mendekati daratan (struktur). Untuk visualisasi cartesian grid dapat dilihat pada gambar 4.13.





Gambar. 4.13 Visualisasi *cartesian Grid*  
 Sumber : Hasil Simulasi, 2018

10. Langkah berikutnya mengatur *model control* untuk setting analisis hidrodinamik, sedimen, dan angin. Untuk analisis sirkulasi *CMS-Flow* jangka menengah, setting *time step hydrodinamic* menggunakan 180 detik dengan *simulation duration* selama 744 jam dan *ramp duration* selama 24 jam. Koefisien kekasaran (*mannings*) sebesar 0,025 tetap konstan di atas domain numerik, begitu juga dengan nilai  $D_{50}$  sebesar 0.451 mm. Kedalaman untuk skema pembasahan dan pengeringan adalah 0,05 m. Kemudian untuk pengaturan transportasi sedimen *CMS-Flow*, *setting time step* laju transportasi menggunakan 180 *seconds* dan perubahan morfologi ditetapkan setiap jamnya. Rumus kapasitas transportasi menggunakan Van Rijn dengan model Non-Equilibrium Transport (NET) berdasarkan model adveksi-difusi untuk menghitung tingkat transportasi sedimen dalam *CMS-Flow*. Selain parameter variabel spasial yang dikalibrasi dalam parameter hidrodinamika, parameter transportasi dan morfologi sedimen tercantum pada Tabel 4.23.

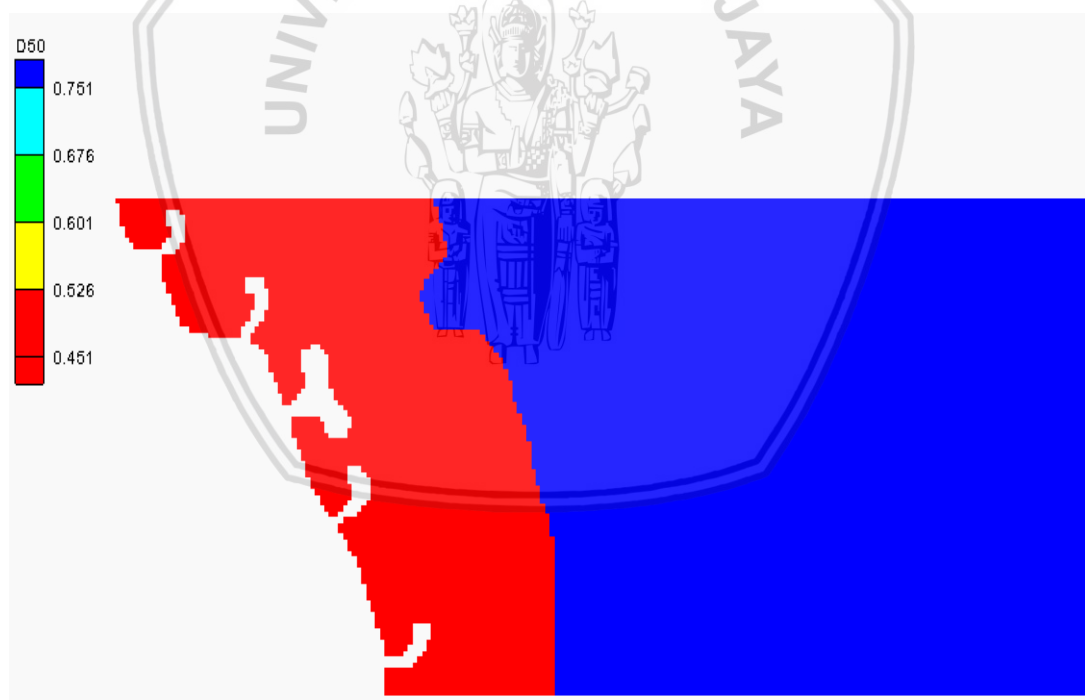


Tabel 4.23 Parameter Dasar *CMS-Flow*

Parameter	Nilai
Manning's n	0.025
Advection	Included
Wall Friction	Included
Wetting and Drying	Included (minimum wet depth: 0.05 m)
D50 (mm)	0.451
Sedimen Density (kg/m <sup>3</sup> )	2650
Sedimen Porosity	0.4
Transport Equation	Van Rijn
Bed Slope Coefficient	0.1
Total Load Adaptation Length Method	Constant
Adaptation Length	10

Sumber: Perhitungan, 2018

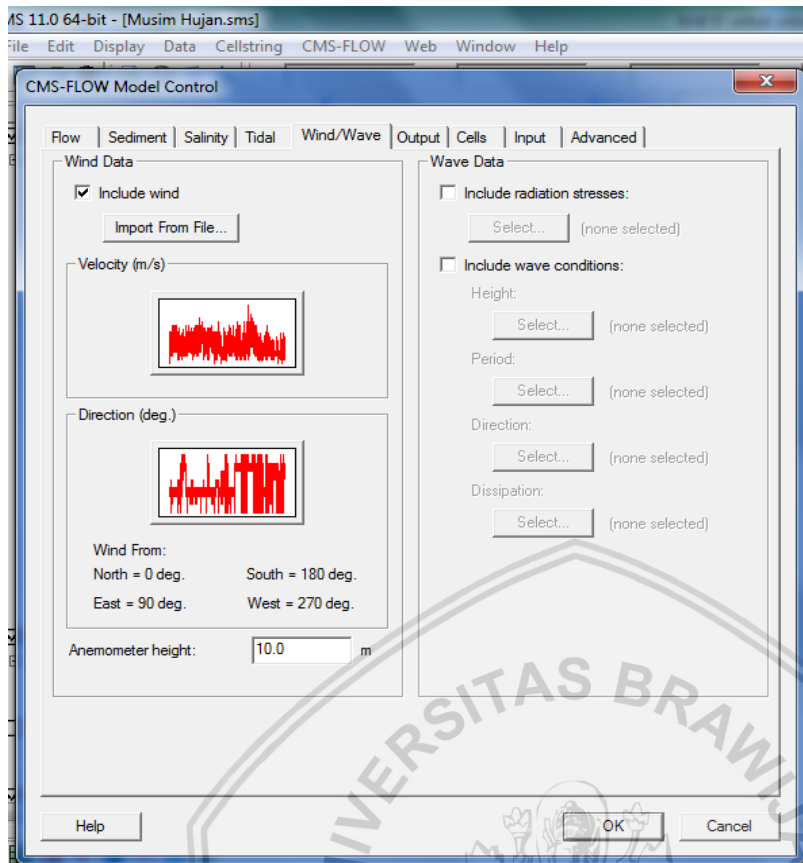
Pengaturan sedimen yang diuraikan di atas adalah usaha untuk mereproduksi perkiraan transportasi terukur untuk area studi dan perubahan morfologi, yang diukur dengan simulasi morfologi jangka panjang. Hasil dari pengaturan sedimen di atas dapat di visualisasikan dalam bentuk sebaran sedimen D<sub>50</sub> seperti pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Visualisasi Sebaran Sedimen D<sub>50</sub>

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

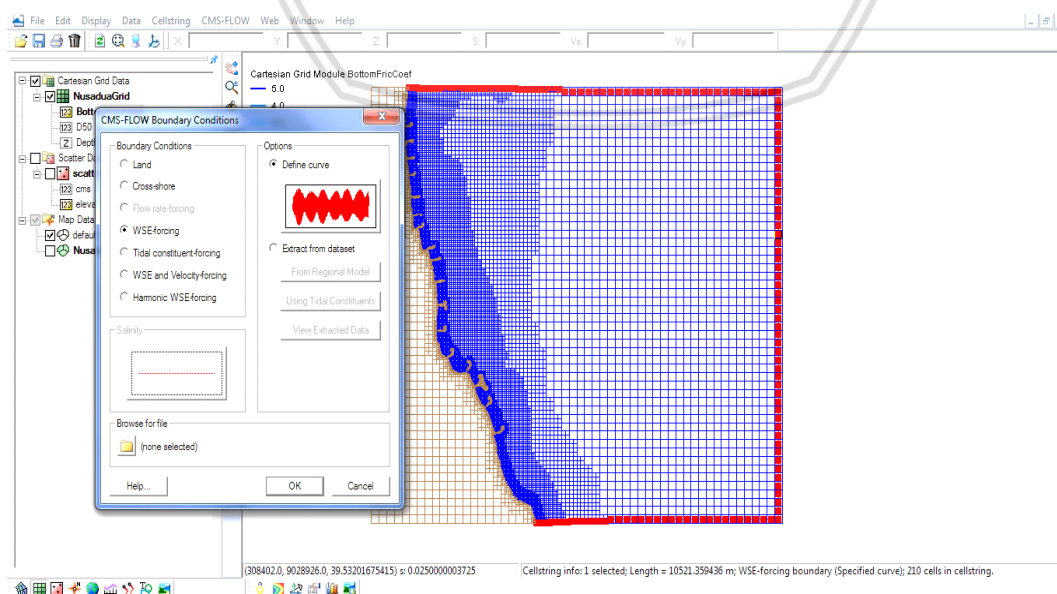
11. *Model control* juga digunakan untuk *setting* parameter angin. Pada langkah ini yang dimasukkan adalah data kecepatan dan arah angin terkoreksi pada tahun 2013 yang telah disajikan pada lampiran. Agar lebih jelas visualisasi wind data pada *CMS-FLOW* telah disajikan pada Gambar 4.15 berikut:



Gambar 4.15 Visualisasi *Wind Data* pada *Model Control*

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

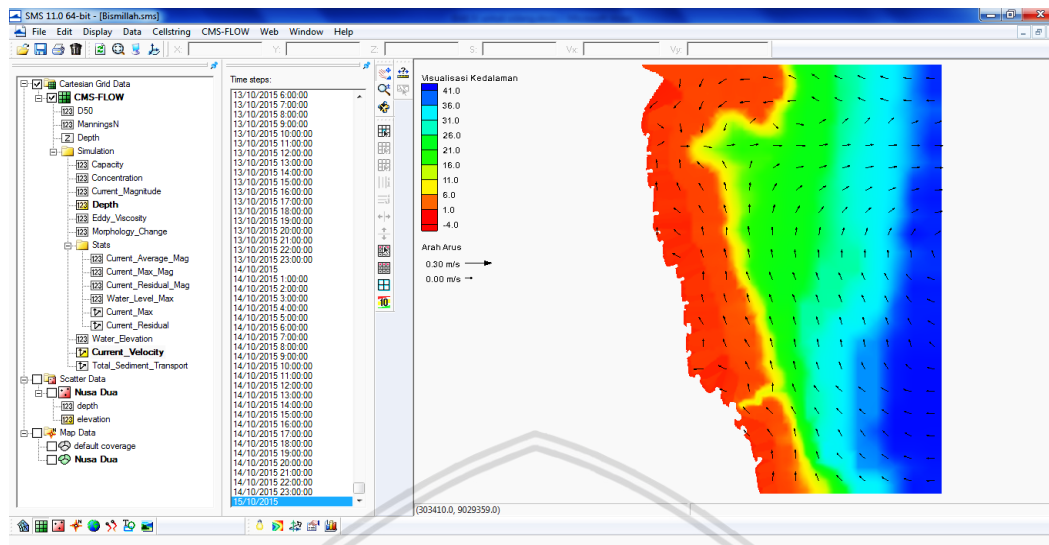
12. Membuat batas kondisi dengan melakukan perintah pada *WSE-Forcing* dan menginput data pasang surut. Elevasi muka air dalam *CMS-Flow* sebagai deret waktu pasang surut (pasut) pada dua batasan; batas laut utara dan laut selatan. Gambar 4.16 menunjukkan batasan kondisi pasang surut.



Gambar 4.16 *CMS-FLOW Boundary Conditions*

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

13. Lakukan perintah *CMS-FLOW* → *Run CMS-FLOW*
14. Setelah beberapa waktu maka akan keluar hasil simulasi seperti berikut



Gambar 4.17 Visualisasi Kedalaman

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

#### 4.7.1.1 Kalibrasi Model

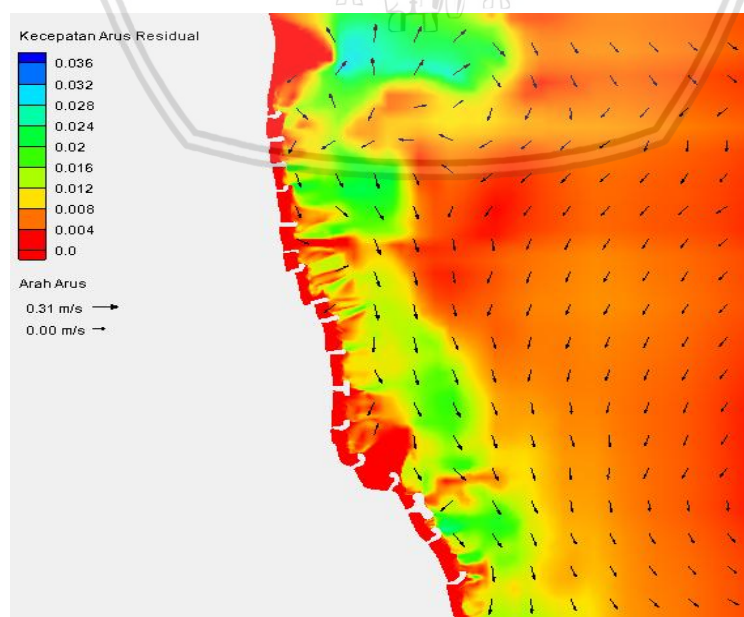
Setiap instrumen ukur tidak akan dianggap sesuai apabila belum dilakukan pengujian terhadap instrumen ukur itu sendiri. Proses pengujian untuk menentukan kesesuaian instrumen ukur dengan membandingkan hasil antara instrumen ukur dengan kondisi yang sebenarnya disebut dengan kalibrasi. Kalibrasi berfungsi untuk melihat apakah hasil dari pemodelan sudah layak dan benar, sehingga parameter dasar yang digunakan dapat digunakan untuk pemodelan selanjutnya. Dalam hal ini kalibrasi dilakukan dua kali yaitu kalibrasi pada nilai besar arus dan kalibrasi pada profil pantai.

##### 4.7.1.1.2. Kalibrasi Nilai Besaran Arus

Sama seperti kalibrasi pada umumnya kalibrasi arus berfungsi untuk melihat apakah hasil pemodelan layak atau benar untuk digunakan lebih lanjut. Data pemodelan dibandingkan dengan data arus yang didapat dari *The Urgent Bali Beach Conservation Project*. Adapun langkah-langkah untuk melakukan kalibrasi adalah sebagai berikut:

1. Melakukan simulasi dengan menggunakan domain awal yaitu dari Nusa Dua hingga Tanjung Benoa. Simulasi dilakukan dalam jangka waktu 1 bulan yaitu pada tanggal 28 Februari 2015 pukul 01.00 hingga 30 Maret 2015 pukul 01.00. Pemodelan dilakukan selama 1 bulan dikarenakan dalam jangka waktu tersebut siklus pasang surut telah selesai, sehingga efek hidrodinamika yang terjadi akibat sirkulasi pasang surut dapat dideteksi dan kemudian dikalibrasi.

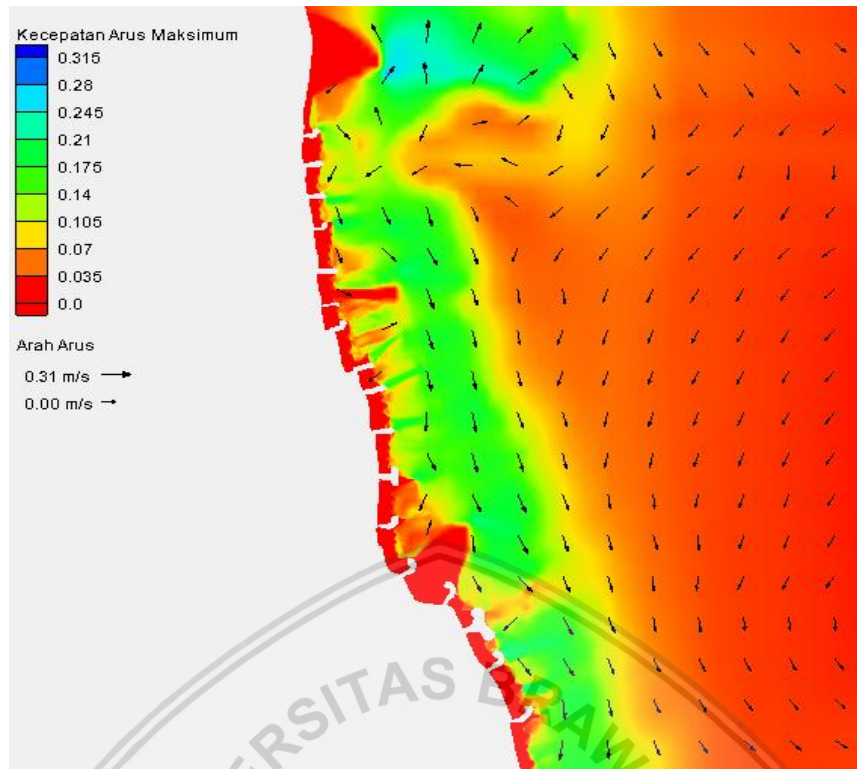
2. Pada simulasi ini setting *time step hydrodynamic* menggunakan 180 detik dengan *simulation duration* selama 744 jam dan *ramp duration* selama 24 jam. Koefisien kekasaran (*mannning*) sebesar 0,025, begitu juga dengan nilai  $D_{50}$  sebesar 0.451 mm. Kedalaman untuk skema pembasahan dan pengeringan adalah 0,05 m. Kemudian untuk pengaturan transportasi sedimen *CMS-Flow*, *setting time step* laju transportasi menggunakan 180 *seconds* dan perubahan morfologi ditetapkan setiap jamnya.
3. Menginput data kecepatan dan arah angin terkoreksi pada tanggal 28 Februari 2013 -30 Maret 2013. Pada langkah ini data angin dianggap sama setiap tahunnya. Dikarenakan kecepatan dan arah angin pada lokasi studi tidak terdapat perubahan yang signifikan tiap tahunnya dan keterbatasan yang dimiliki penulis untuk data angin tahun 2015.
4. Menginput data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada waktu yang telah disesuaikan dengan waktu simulasi yaitu pada tanggal 28 Februari 2015 – 30 Maret 2015.
5. Hasil dari pemodelan berupa kecepatan arus dan arah arus dalam m/s. Nilai besaran arus kemudian dibandingkan dengan nilai besaran arus yang terdapat di lokasi studi dan dihitung persentase kesalahan pada masing-masing titik. Apabila persentase kesalahan antara 0%-10% maka model dianggap sudah layak dan parameter dasar yang telah diinput dapat digunakan untuk pemodelan berikutnya.



Gambar 4.18 Hasil *Running CMS-Flow* selama 1 Bulan untuk Analisis Arus Residual pada Bulan Februari 2015-Maret 2015

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

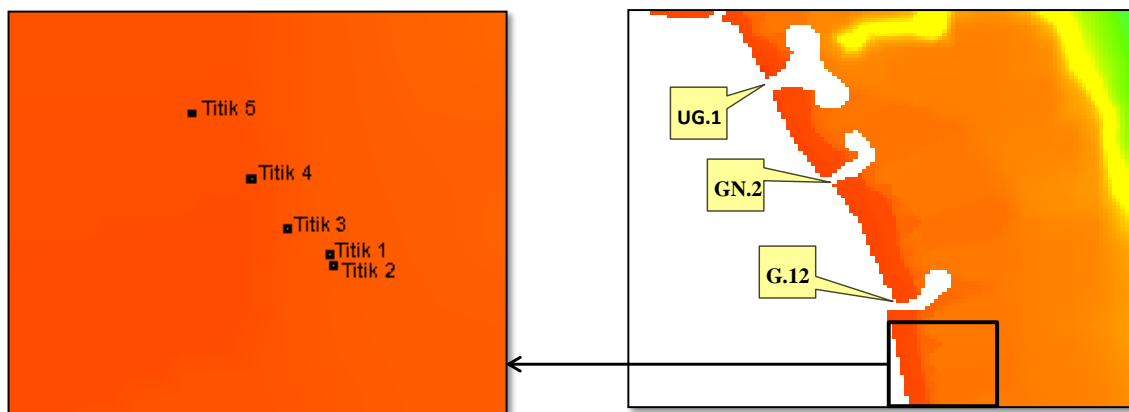




Gambar 4.19 Hasil *Running CMS-Flow* selama 1 Bulan untuk Analisis Arus Maksimum pada Bulan Februari 2015-Maret 2015  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018

Dari hasil pemodelan di atas dapat diketahui untuk analisis arus residual besar arus maksimum adalah 0,036 m/s dan untuk analisis arus maksimum besar arus maksimumnya adalah 0,315 m/s.

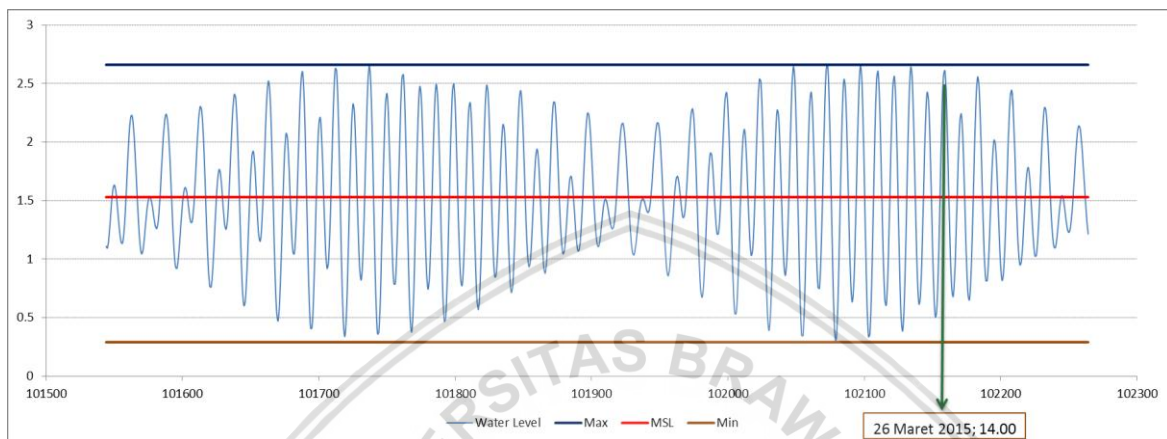
Berdasarkan pengamatan yang dilakukan oleh *The Urgent Bali Beach Conservation Project*, untuk meninjau besar nilai kecepatan arus Pantai Nusa Dua, Bali dilakukan pada 5 titik berbeda. Agar lebih jelas lokasi pengamatan arus laut Pantai Nusa Dua, Bali dapat dilihat pada Gambar 4.19 berikut.



Gambar 4.20 Zona Lokasi Pengamatan Arus Laut Pantai Nusa Dua, Bali  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Persegi berwarna biru menunjukkan lokasi pengamatan arus laut di Pantai Nusa Dua, Bali. Pada wilayah tersebut dapat diketahui kelima titik lokasi pengamatan. Masing-masing titik akan menunjukkan besaran nilai kecepatan arus laut yang digunakan untuk perhitungan kalibrasi. Perhitungan kalibrasi dilakukan pada tanggal 26 Maret 2015 pada kondisi muka air pasang seperti yang telah ditampilkan pada Gambar 4.20 dan Tabel 4.24 berikut.



Gambar 4.21 Grafik data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada bulan Februari 2015-Maret 2015

Sumber: Hasil Perhitungan 2018

Tabel 4.24 Perhitungan *Error Validasi* untuk Kecepatan Arus CMS-Flow

No	Koordinat (Meter)		Kecepatan Arus (m/s)		Kesalahan Relatif (%)
	Easting	Northing	Pemodelan	Hasil Observasi	
1	305719.456	9027524.302	0.010	0.011	9.091
2	305720.669	9027520.468	0.108	0.101	6.931
3	305701.388	9027536.274	0.097	0.091	6.593
4	305686.155	9027556.659	0.130	0.126	3.175
5	305662.789	9027581.684	0.151	0.167	9.581

Sumber : Hasil Perhitungan, 2018

Persentase kesalahan untuk perhitungan kalibrasi arus pada kelima titik cukup kecil yaitu sebesar 7,074 %. Untuk masing-masing titik persentase kesalahan terbesar yaitu pada titik 5 sekitar 9,581 %. Akan tetapi hal ini masih dianggap layak karena nilai persentase kesalahan tidak melebihi 10 %.

#### 4.7.1.1.3. Kalibrasi Profil Pantai

Pada kalibrasi profil pantai data hasil pemodelan pada Januari 2013-Juli 2015 dibandingkan dengan hasil monitoring pada 15 Juli. Langkah-langkah pemodelan pada kalibrasi profil pantai adalah sebagai berikut:

1. Dari hasil analisa statistika, perubahan volume pasir, dan kerusakan pantai diketahui bahwa kondisi pantai paling krusial terdapat pada segmen groin UG.1-

- G.12. Sehingga pada kalibrasi profil pantai karena jangka waktu pemodelan lama yaitu selama 30 bulan untuk mendapatkan hasil yang baik maka wilayah pemodelan hanya pada kondisi pantai paling krusial.
2. Pemodelan dilakukan sebanyak 3 tahap. Masing-masing simulasi dilakukan dalam jangka waktu 10 bulan yaitu pada tanggal 1 Januari 2013-30November 2013 (simulasi 1), 1 Desember 2013-31 Oktober 2014 (simulasi 2), 1 November 2014-15 Juli 2015 (simulasi 3).
  3. Pada simulasi ini setting *time step hydrodynamic* menggunakan 300 detik dengan *simulation duration* selama 8.016 jam untuk simulasi 1, 8.040 jam untuk simulasi 2, dan 6.168 jam untuk simulasi 3 dengan *ramp duration* selama 24 jam. Koefisien kekasaran (*mannning*) sebesar 0,025, begitu juga dengan nilai  $D_{50}$  sebesar 0.451 mm. Kedalaman untuk skema pembasahan dan pengeringan adalah 0,05 m. Kemudian untuk pengaturan transportasi sedimen *CMS-Flow*, *setting time step* laju transportasi menggunakan 300 *seconds* dan perubahan morfologi ditetapkan setiap jamnya dari jam 00.00 dan berhenti pada jam 00.00.
  4. Menginput data kecepatan dan arah angin terkoreksi pada tanggal 1 Januari 2013-30November 2013, 1 Desember 2013-31 Oktober 2013, 1 November 2013-15 Juli 2013.. Pada langkah ini data angin tetap dianggap sama setiap tahunnya seperti simulasi sebelumnya.
  5. Menginput data pasang surut hasil peramalan *least square method* pada waktu yang telah disesuaikan dengan waktu simulasi yaitu pada tanggal 1 Januari 2013-30November 2013 (simulasi 1), 1 Desember 2013-31 Oktober 2014 (simulasi 2), dan 1 November 2014-15 Juli 2015 (simulasi 3).
  6. Profil pantai hasil dari simulasi 3 yaitu pada tanggal 15 Juli 2015 kemudian diplotkan dan dibandingkan dengan profil pantai hasil monitoring yang dilakukan oleh *Bali Beach Conservation Project* pada tanggal 15 Juli 2015. Apabila persentase kesalahan antara 0%-10% maka model dianggap sudah layak dan parameter dasar yang telah diinput dapat digunakan untuk pemodelan berikutnya. Untuk lebih jelasnya Gambar validasi profil pantai Nusa Dua, Bali hasil pemodelan dengan hasil monitoring pada bulan Juli 2015 dapat dilihat pada Lampiran IX dan persentase kesalahan pada segmen groin UG.1-G.12 dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26 berikut:

Tabel 4.25 Validasi Profil Pantai pada Segmen Groin UG.1-GN.2

Line	Monitoring	Model	KR %
7	66.614	66.072	0.814
8	59.793	59.361	0.722
9	56.587	56.904	0.559
10	53.956	54.319	0.672
11	55.038	55.724	1.245
12	58.675	59.015	0.578
13	61.648	63.719	3.359
14	63.866	67.840	6.222
Rata-Rata			1.771

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Tabel 4.26 Validasi Profil Pantai pada Segmen Groin GN.2-G.12

Line	Monitoring	Model	KR %
2	43.971	44.132	0.367
3	44.534	44.524	0.022
4	45.171	44.889	0.623
5	46.417	46.238	0.386
6	49.289	49.472	0.371
7	52.122	52.271	0.285
8	55.596	56.348	1.352
9	58.097	57.910	0.322
10	56.874	56.677	0.346
11	56.551	56.534	0.031
12	55.946	56.127	0.324
13	54.019	54.233	0.397
14	51.986	52.275	0.557
15	49.457	49.455	0.003
16	45.833	45.694	0.302
17	43.043	43.007	0.084
18	41.653	41.702	0.117
19	40.049	39.908	0.352
20	37.226	37.122	0.278
21	36.661	34.986	4.570
22	40.045	37.436	6.516
23	46.787	46.116	1.435
24	56.474	56.831	0.631
25	68.586	69.505	1.340
Rata-Rata			0.875

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

Hasil perhitungan validasi profil pantai menunjukkan kesalahan relatif pada segmen groin UG.1-GN.2 sebesar 1,771% dan pada segmen groin GN.2-G.12 sebesar 0,875%.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa modul *CMS-FLOW* layak untuk diaplikasikan pada perencanaan bangunan pantai Nusa dua, Bali karena hasil pemodelan lebih detail dan akurat.

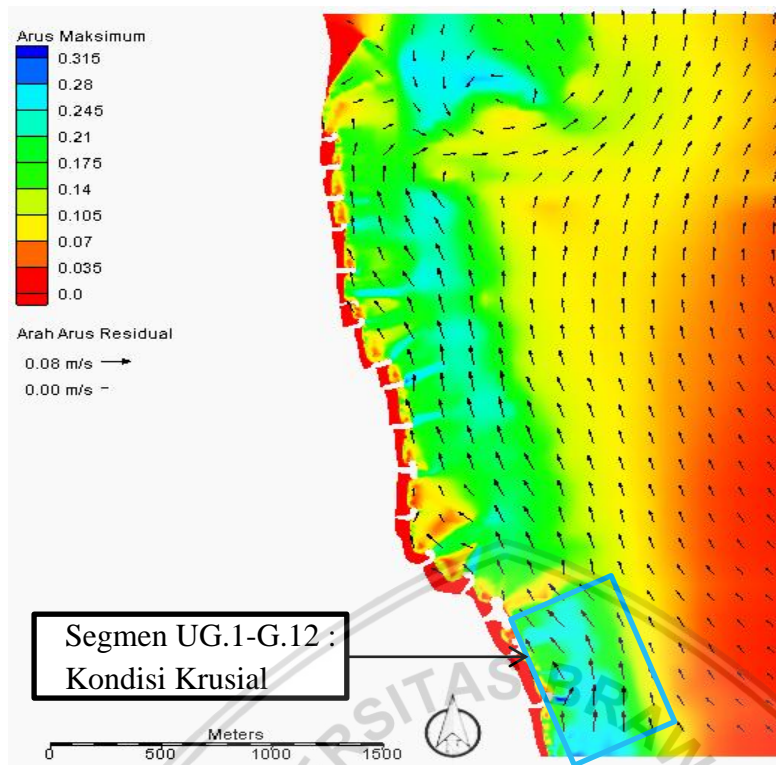
#### **4.7.1.2 Analisis Kondisi Arus**

Di banyak muara diketahui bahwa setelah satu siklus pasang surut partikel air tidak akan kembali ke awal lokasi. Hal ini disebabkan arus konstan dan turbulensi. Aliran konstan didefinisikan sebagai bagian stabil dalam analisis harmonis arus pasang surut. Hal ini disebabkan oleh angin, gradien tekanan atmosfer, sungai debit, arus kerapatan, arus di laut terbuka, gaya coriolis dan nonlinier arus pasang surut, dll (Beselly, 2013,p.134).

Aliran konstan seperti yang didefinisikan pada uraian di atas disebut arus residual. Arus residual tidak hanya berlaku di muara tapi juga di laut. Dalam prosesnya beberapa material yang terinjeksi ke dalam lautan akan dipengaruhi oleh arus. Arus memiliki peran penting dalam proses transpor sedimen atau material dan pergerakan air di area pantai. Analisis arus residual penting digunakan untuk menginvestigasi arus dominan di area studi.

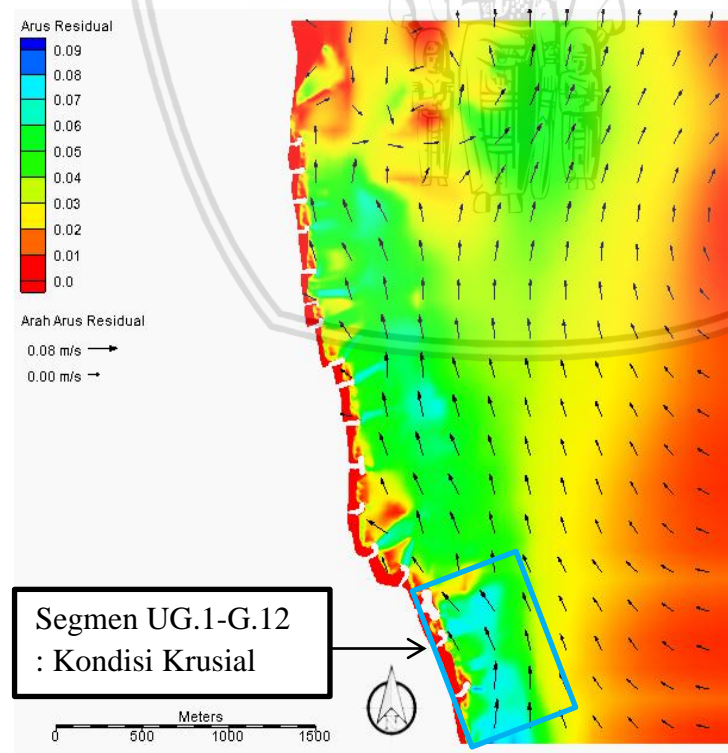
Pada tahap pertama, simulasi menggunakan domain awal. Sehingga batas wilayah pemodelan yaitu, dari segmen groin GA.2 (Tanjung Benoa) hingga G.12 (Nusa Kecil). Simulasi ini pada umumnya bertujuan sebagai kalibrasi dan pengaturan awal. Akan tetapi, karena dalam penelitian ini simulasi dengan domain awal menggunakan jangka waktu menengah, maka hasil keluaran juga digunakan sebagai salah satu parameter penentuan domain simulasi. Untuk lebih jelasnya hasil simulasi dengan domain awal telah disajikan pada Gambar 4.22, Gambar 4.23 dibawah ini.





Gambar 4.22 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Arus Maksimum dengan Arah Arus Maksimum pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

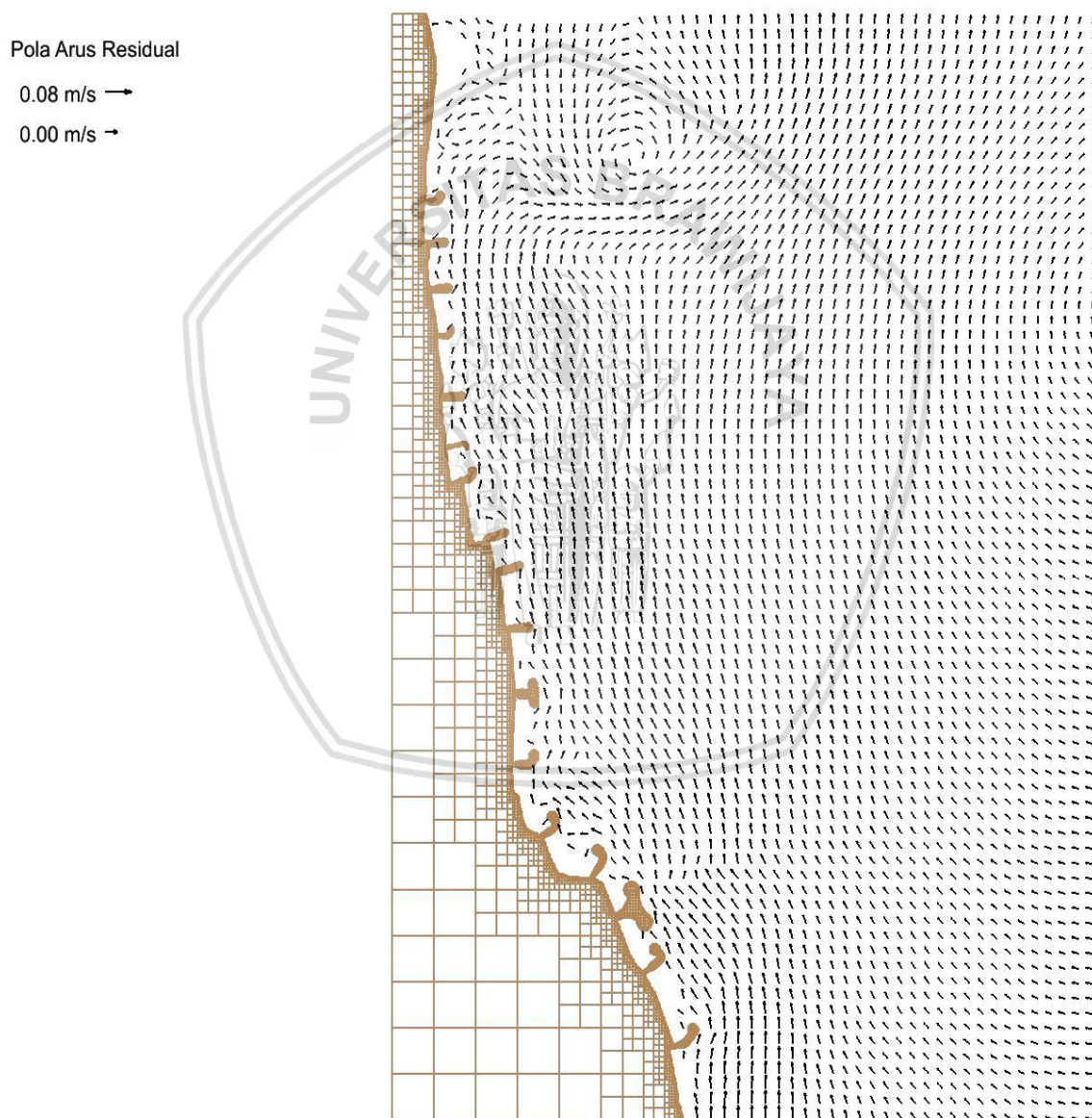


Gambar 4.23 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Arus Residual dengan Arah Arus Residual pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Hasil dari analisis diatas dapat diketahui pada kondisi domain awal arus pada umumnya mengalir dari selatan ke utara. Di area fokus (UG.1 – G.12) yang ditunjukkan sebagai persegi bewarna biru, aliran arus dari arah selatan dan tenggara menuju ke utara kemudian berbelok menuju ke arah pantai. Pada kondisi ini arus maksimum yang terjadi adalah 0,315 m /s sedangkan arus residual maksimum adalah 0.09 m/s, dan untuk arus dominan terjadi pada segmen groin UG. 1 - G.12. Hal ini menunjukkan bahwa hasil simulasi telah sesuai jika dibandingkan dengan beberapa analisis sebelumnya, dimana kondisi segmen groin paling krusial yaitu pada segmen groin UG.1-G.12. Untuk detail pola arus residual terlihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Pola Arus Residual pada Kondisi Domain Awal dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

#### 4.7.1.3 Domain Simulasi

Domain simulasi merupakan wilayah pemodelan studi yang digunakan untuk simulasi jangka menengah ataupun jangka panjang. Perbedaan dari domain sebelumnya yaitu pada ukuran wilayah pemodelan dan *telescoping grid* yang digunakan pada saat simulasi. Untuk domain simulasi wilayah pemodelan dan *telescoping grid size* yang digunakan lebih kecil, hal ini bertujuan untuk memperoleh hasil simulasi yang lebih detail. Sehingga permasalahan pada lokasi studi dapat terlihat dengan jelas.

Dalam penelitian ini batas wilayah pemodelan untuk domain simulasi ditentukan berdasarkan kondisi pantai yang memiliki kerusakan paling krusial. Penentuan kondisi paling krusial dilakukan dengan beberapa analisis baik analisis secara manual, pengamatan langsung di lapangan, maupun hasil dari pemodelan dengan menggunakan *software*.

Pada tahap awal dilakukan dengan mengolah data hasil monitoring. Seperti telah diketahui pada sub-bab sebelumnya. Dari hasil pengamatan di lapangan didapatkan dua data yang dapat digunakan sebagai penentuan kondisi paling krusial yaitu, data profil pantai dan data perhitungan volume pasir. Untuk data perhitungan volume pasir telah didapatkan persentase kehilangan pasir tiap periodenya, akan tetapi untuk data profil pantai perlu dilakukan analisis terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi paling krusial. Dalam hal ini analisis dilakukan dengan menggunakan program statistika *IBM SPSS Statistics 24*. Hasil dari kedua analisis tersebut kondisi pantai paling krusial terletak pada segmen groin UG.1–G.12. Pada segmen ini persentase rata-rata kehilangan pasir tiap periodenya sebesar 5,43% dengan range perubahan garis pantainya sebesar 63,22 m.

Langkah berikutnya yaitu dengan menganalisa kerusakan pantai dan menentukan skala prioritas penanganannya dengan menggunakan acuan peraturan pemerintah menteri Pekerjaan Umum No.08/SE/M/2010. Hasil analisa pada tahap ini menunjukkan bahwa segmen groin UG.1-G.12 memiliki kerusakan paling parah diantara segmen groin yang lainnya. Sehingga tingkat penanganan pada segmen groin ini sangat diutamakan karena memiliki nilai kerusakan  $>300$ .

Pada tahap akhir penentuan batas wilayah domain simulasi yaitu dengan mensimulasikan seluruh wilayah pantai Nusa Dua, Bali dengan menggunakan program Cms-Flow dalam *interface SMS versi 11.0*. Simulasi ini menghasilkan kecepatan arus maksimum, dan kecepatan arus residual pada wilayah studi. Maka, hasil dari simulasi tersebut dapat diketahui arus dominan terjadi pada segmen groin UG.1-G.12.

Dari beberapa analisis diatas dapat ditentukan kondisi pantai paling krusial, yaitu pada segmen groin UG.1-G.12. Dengan melihat kontur kedalaman laut yang terdapat pada

lokasi studi, maka batas wilayah pemodelan untuk domain simulasi dari segmen G.9-G.12. Akan tetapi fokus studi tetap berada pada segmen groin UG.1-G.12.

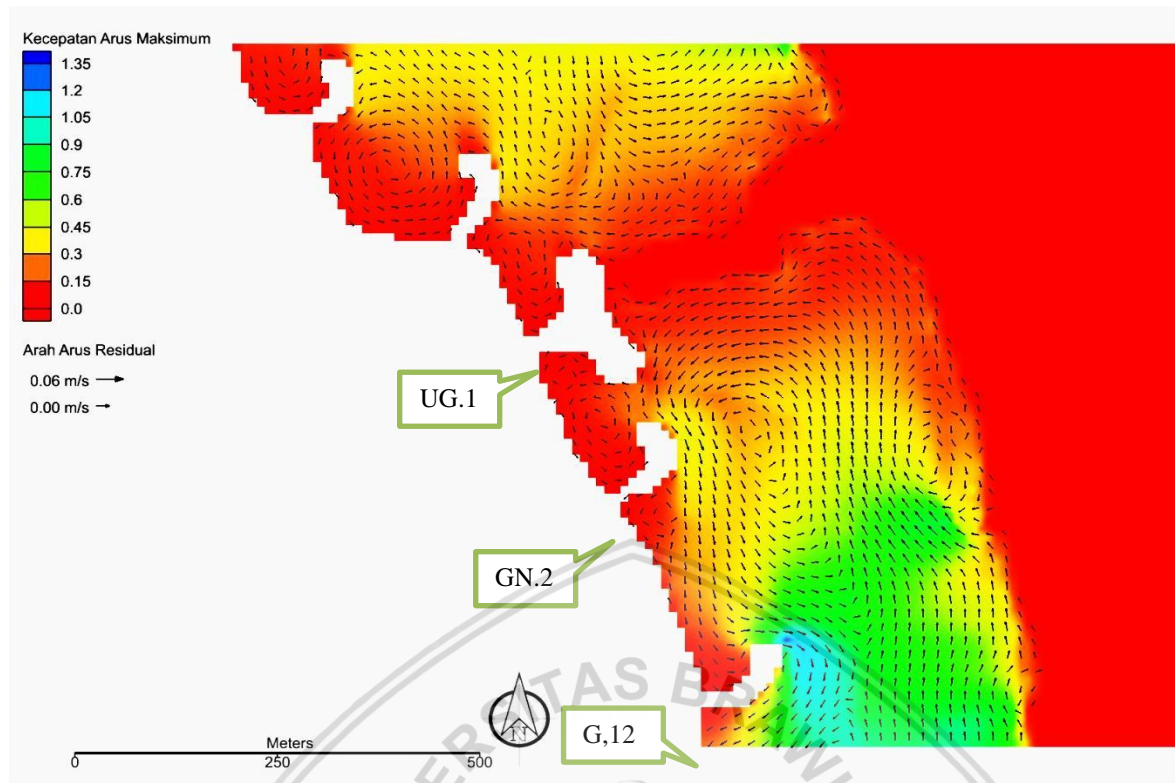
#### 4.7.1.4 Analisis Pola Perubahan Morfologi

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki dua musim tiap tahunnya yaitu, musim hujan (Oktober-Maret) dan musim kemarau (April-September). Seperti telah diketahui pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 angin mengalami kenaikan pada setiap musim. Kecepatan angin dari data angin rata-rata harian untuk musim hujan adalah 4,473 m/s dan untuk musim kemarau adalah 5,204 m/s. Dengan memperhatikan hal tersebut, maka simulasi selanjutnya dibagi menjadi tiga kondisi yaitu: kondisi tanpa angin, kondisi dengan angin musim hujan, dan kondisi dengan angin musim kemarau.

Tujuan pendistribusian ketiga kondisi tersebut adalah untuk mengetahui pola sirkulasi dan perubahan morfologi. Pola sirkulasi dijelaskan dengan menganalisis arus residual dari kondisi tersebut, dan menyelidiki pengaruh arus residual terhadap perubahan morfologi. Analisa perubahan morfologi juga dapat digunakan untuk menganalisis beberapa keanehan yang mungkin terjadi pada simulasi yang dihasilkan.

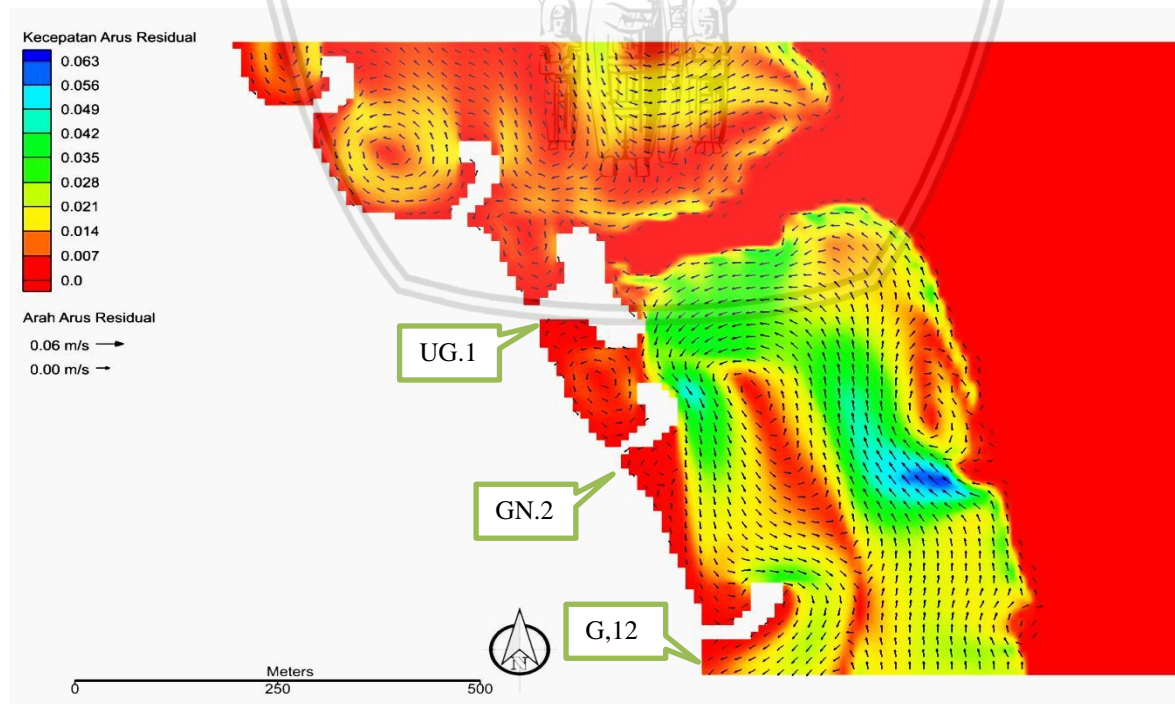
Penyiapan model untuk ketiga kondisi ini didiskripsikan sebagai berikut: durasi simulasi adalah 2208 jam, *ramp duration* adalah 24 jam (1 hari), *time step* adalah 180 detik, dan menggunakan persamaan transpor sedimen non-equilibrium dengan rumus Van Rijn, koefisien *bedslope* 0,1 dan *adaptation length* 10 m. Pada simulasi ini batas wilayah pemodelan menggunakan domain simulasi, yaitu mulai dari UG.1-G.12. Batas kondisi untuk *WSE-Forcing* sebagai nilai pasang surut muka air menyesuaikan batas wilayah laut pada *grid domain*. Nilai pasang surut didapatkan dari hasil peramalan dengan metode *least square* pada waktu yang sama dengan waktu simulasi yaitu 15 Juli 2015-15 Oktober 2015 untuk kondisi musim kemarau dan 15 Oktober 2015-15 Januari 2015 untuk kondisi musim hujan. Data angin yang dimasukkan merupakan data angin tahun 2013 dengan bulan yang sama dengan bulan simulasi. Agar lebih jelas, maka ketiga kondisi tersebut ditampilkan dalam bentuk gambar sebagai berikut.





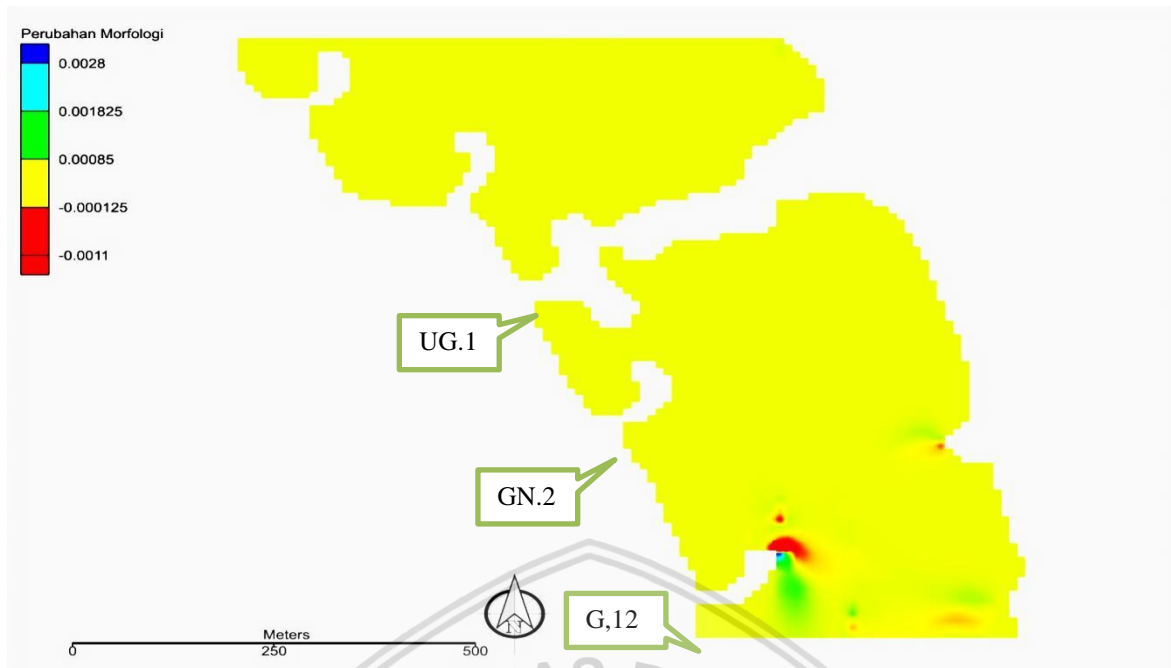
Gambar 4.25 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



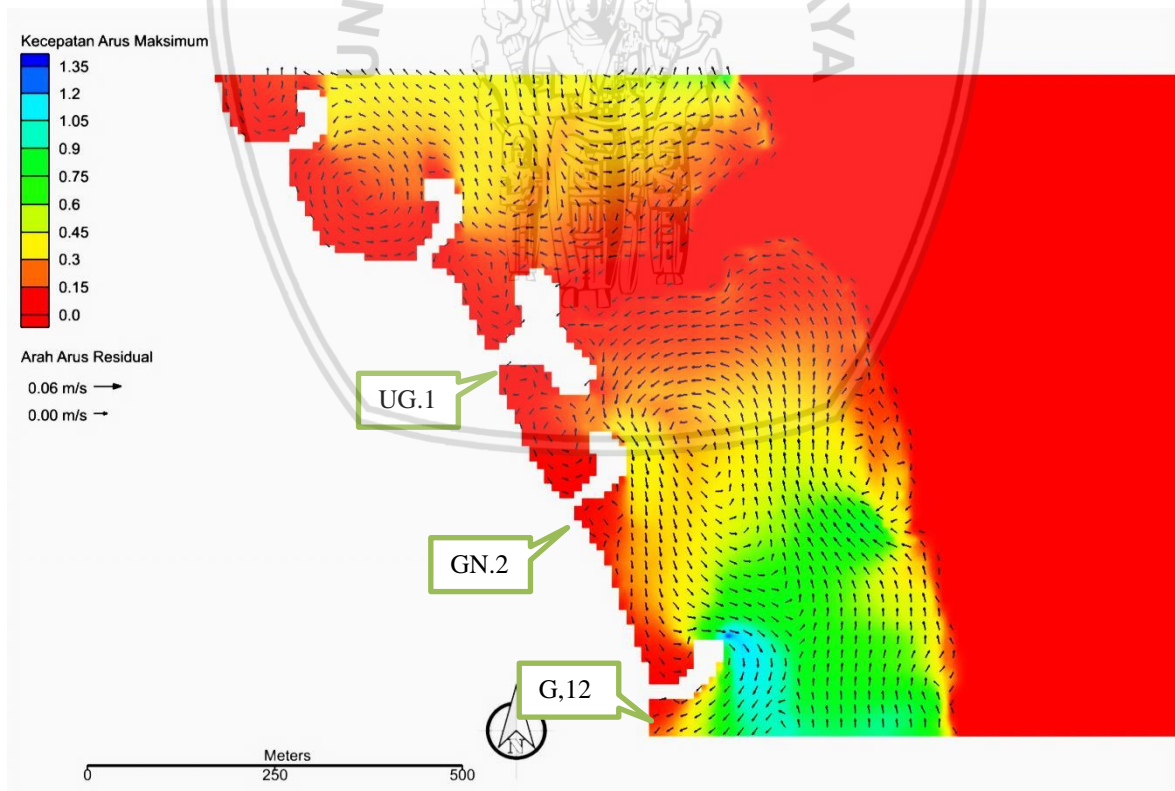
Gambar 4.26 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.27 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Tanpa Angin dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

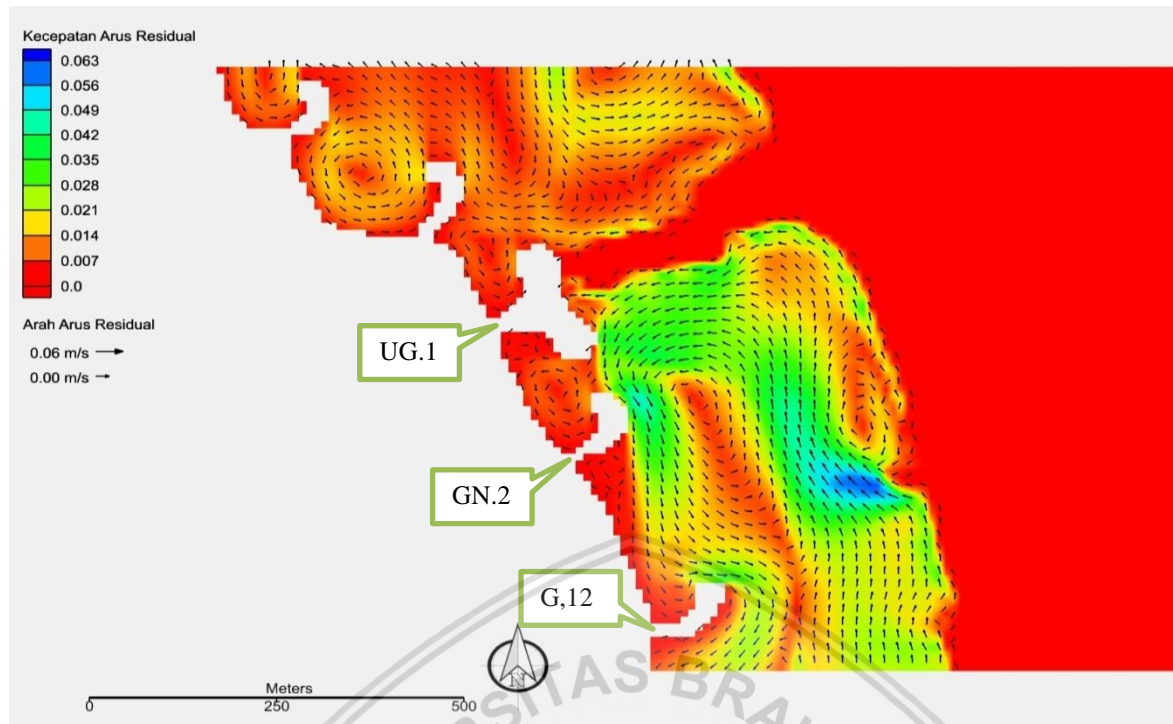
Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.28 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

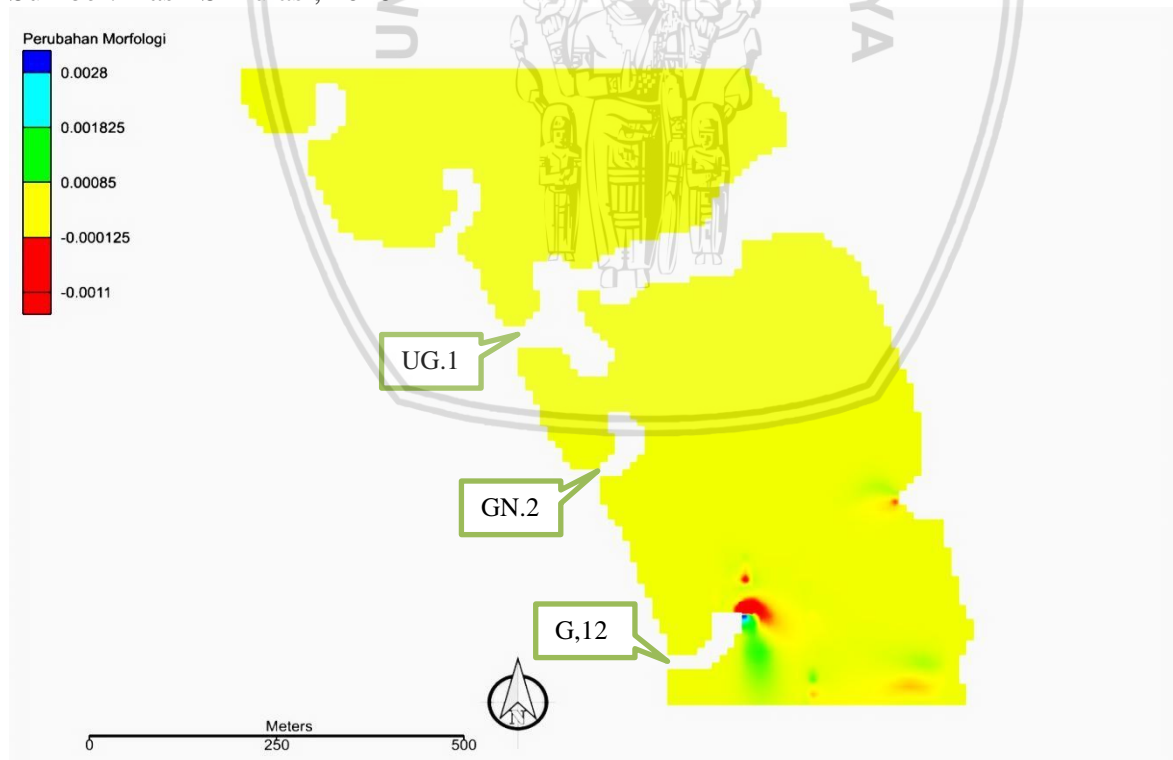
Sumber: Hasil Simulasi, 2018





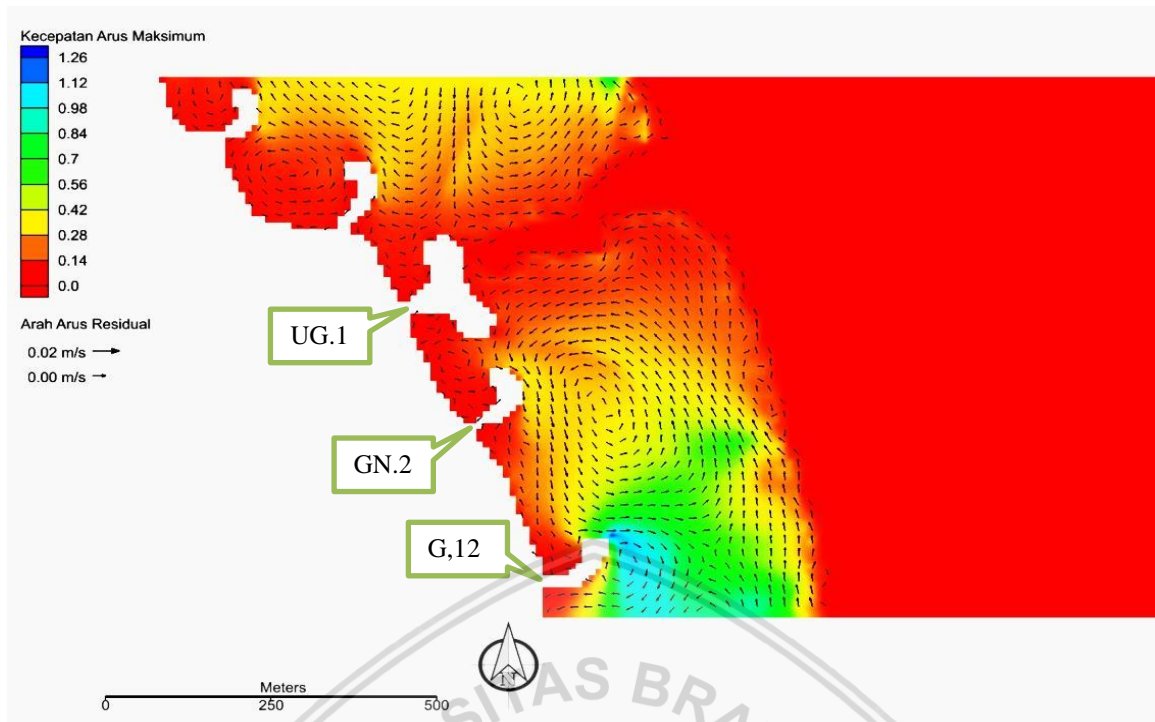
Gambar 4.29 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



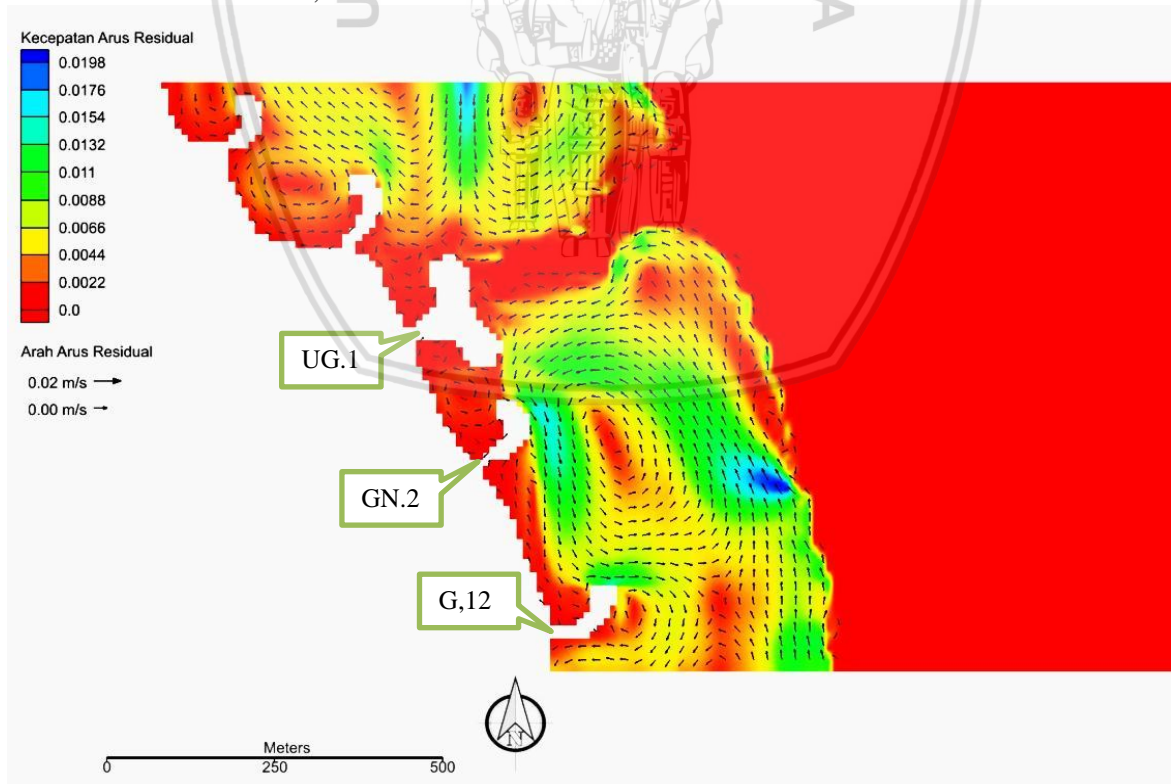
Gambar 4.30 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Kemarau dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Juli 2015-15 Oktober 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



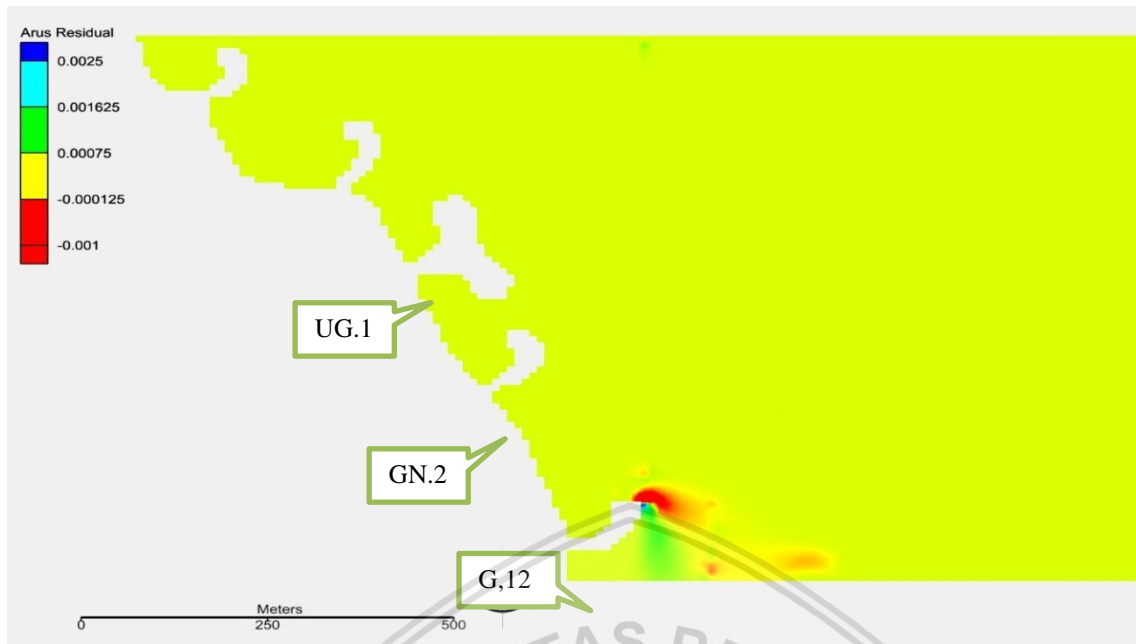
Gambar 4.31 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan Arus Maksimum dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Oktober 2015-15 Januari 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.32 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Analisis Kecepatan dan Arah Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Oktober 2015-15 Januari 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.33 Hasil *Running CMS-Flow* untuk Pola Perubahan Morfologi pada Segmen Groin UG.1 – G.12 Kondisi Angin Musim Hujan dalam Jangka Waktu 3 Bulan (15 Oktober 2015-15 Januari 2015)

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

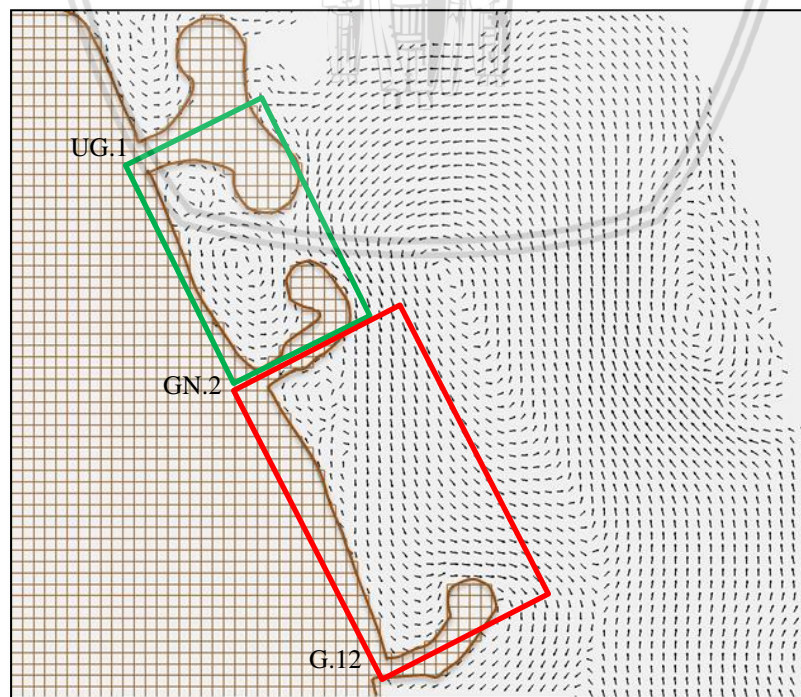
Hasil analisis diatas menunjukkan bahwa tidak ada perubahan yang signifikan yang terlihat pada masing-masing kondisi. Dapat dilihat pada Gambar 4.25, Gambar 4.26, dan Gambar 4.27 hasil simulasi tanpa kondisi angin. Arus maksimumnya adalah 1,35 m/s sedangkan arus residual maksimum adalah 0.063 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0028m dan minimum -0,0011m. Kemudian pada kondisi angin musim kemarau bisa terlihat pada Gambar 4.28, Gambar 4.29, dan Gambar 4.30. Arus maksimumnya adalah 1,35 m/s sedangkan arus residual maksimum adalah 0,063 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0028m dan minimum -0,0011m. Dan terakhir pada kondisi angin musim hujan yang dapat terlihat pada Gambar 4.31, Gambar 4.32, Gambar 4.33. Arus maksimumnya adalah 1,26 m/s sedangkan arus residual maksimum adalah 0,0198 m/s dan perubahan morfologi bervariasi dari maksimum 0,0025m dan minimum -0,01m.

Dari penjelasan diatas dapat diketahui bahwa hasil pemodelan pada kondisi tanpa angin dan kondisi angin musim kemarau tidak terjadi perbedaan. Sedangkan untuk kondisi angin musim hujan terdapat perbedaan, akan tetapi tidak terlalu signifikan. Pada kondisi ini perbedaan arus maksimumnya adalah 0,09 m/s, kemudian pada kondisi arus residual maksimum sekitar 0,04 m/s, dan untuk perubahan morfologi yang terjadi juga hampir sama hanya pada kondisi maksimum terjadi perbedaan sekitar 0.0002 m/s. Sehingga dapat

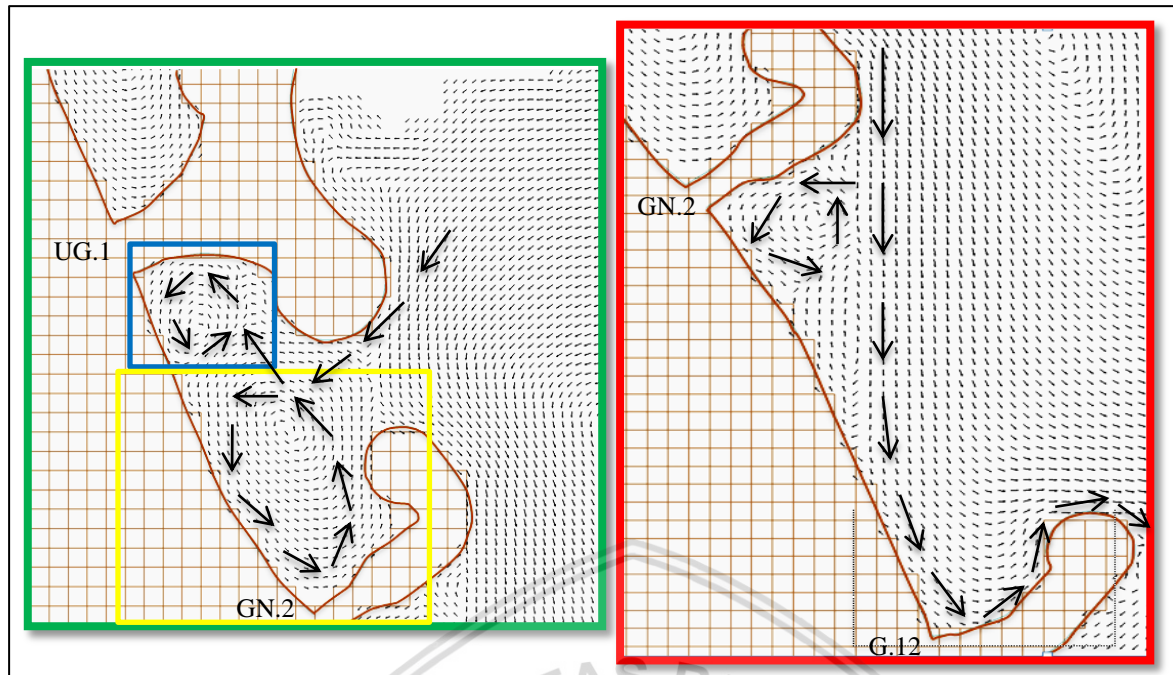


disimpulkan bahwa komponen utama yang mempengaruhi arus di wilayah penelitian adalah arus pasang surut.

Pada ketiga kondisi tersebut arus pada umumnya mengalir dengan pola yang sama yaitu, dari selatan menuju ke utara. Di area fokus studi UG.1-GN.2 yang ditunjukkan pada Gambar 4.34 dengan persegi berwarna hijau, aliran arus berputar berlawanan jarum jam dari utara ke selatan ke timur dan kembali ke utara. Terdapat dua aliran arus dengan pola yang sama pada segmen ini yang ditunjukkan pada Gambar 4.35 dengan menggunakan persegi berwarna biru dan kuning. Hal ini menyebabkan terjadinya ketidak seimbangan transpor sedimen. Seperti yang dapat dilihat pada persegi berwarna kuning, arus berputar menuju persegi berwarna biru. Sehingga menyebabkan sedimen pada area persegi berwarna kuning terangkut menuju persegi berwarna biru, dan mengakibatkan terjadinya sedimentasi pada area persegi berwarna biru. Pada area fokus studi kedua yaitu GN.2-G.12 yang ditunjukkan menggunakan persegi berwarna merah, aliran arus dari selatan menuju ke utara kemudian berputar menuju ke arah selatan lalu ke timur dan kembali lagi menuju arah selatan. Pada segmen ini wilayah pantai mengalami erosi. Hal ini dikarenakan arus dari arah utara yang masuk menuju segmen groin GN.2-G.12 bergerak keluar menuju selatan, sehingga menyebabkan sedimen yang berada pada wilayah tersebut terangkut keluar. Agar lebih jelas pola arus residual secara rinci dapat dilihat pada Gambar 4.34 dan Gambar 4.35.



Gambar 4.34 Detail Pola Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.12  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.35 Pola Arus Residual pada Segmen Groin UG.1 – GN.2 dan GN.2 – G.12  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018

#### 4.7.2 Pemodelan CMS-Wave

*CMS-Wave* adalah salah satu komponen dari *CMS (Coastal Modelling System)* yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineers Coastal and Hydraulics Laboratory*. Hasil dari *CMS-Wave* adalah gelombang dua dimensi model transformasi spektral. *CMS-Wave* mengabaikan perubahan fase gelombang untuk menghitung gelombang dan proses dekat pantai lainnya. Adapun langkah-langkah pengerjaan analisis dalam model *CMS-Wave* dalam *SMS 11.0* adalah sebagai berikut:

1. Koordinat dirubah ke proyeksi UTM sesuai dengan lokasi Pantai Nusa Dua, yaitu zone 50 ( $114^{\circ}\text{BT}$  -  $120^{\circ}\text{BT}$  lintang utara). Memastikan semua satuan adalah meter.
2. Membuat kontur bathymetri sesuai dengan format file yang dapat dibaca oleh *software SMS* dalam hal ini digunakan file dalam format *.dxf*.
3. Mengconvert kontur bathymetri (*Cad Point*) menjadi *scatter 2D* sehingga pada model ditampilkan titik *scatter* sebagai informasi kedalaman.
4. Buat *cartesian grid frame* dalam model *CMS-Wave* dan bangkitkan grid dengan parameter *cell size* pada *Delta U* dan *Delta V* adalah 5m. Hal ini mengartikan bahwa ukuran sel adalah sebesar 5m x 5m.
5. Edit model spektrum JONSWAP dalam seksi *Spectral Manager* dengan parameter seperti pada Tabel 4.27 berikut.



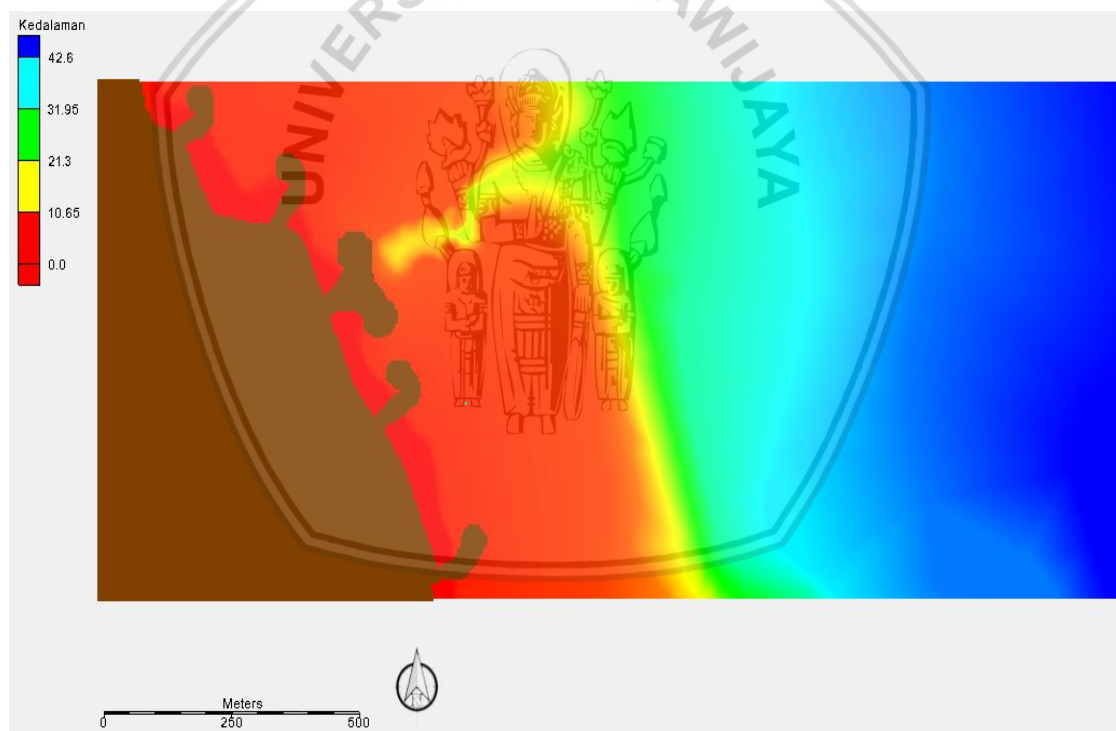
Tabel 4.27 Parameter Spektrum JONSWAP dalam *Spectral Manager*

Index	Angle	$H_s$	$T_p$	Gamma	nn
1	90	0.19	2.295	3.3	4
2	45	0.732	4.505	3.3	4
3	0	2.952	9.046	3.3	4
4	-45	4.031	10.571	4	8

Sumber: Hasil Perhitungan, 2018

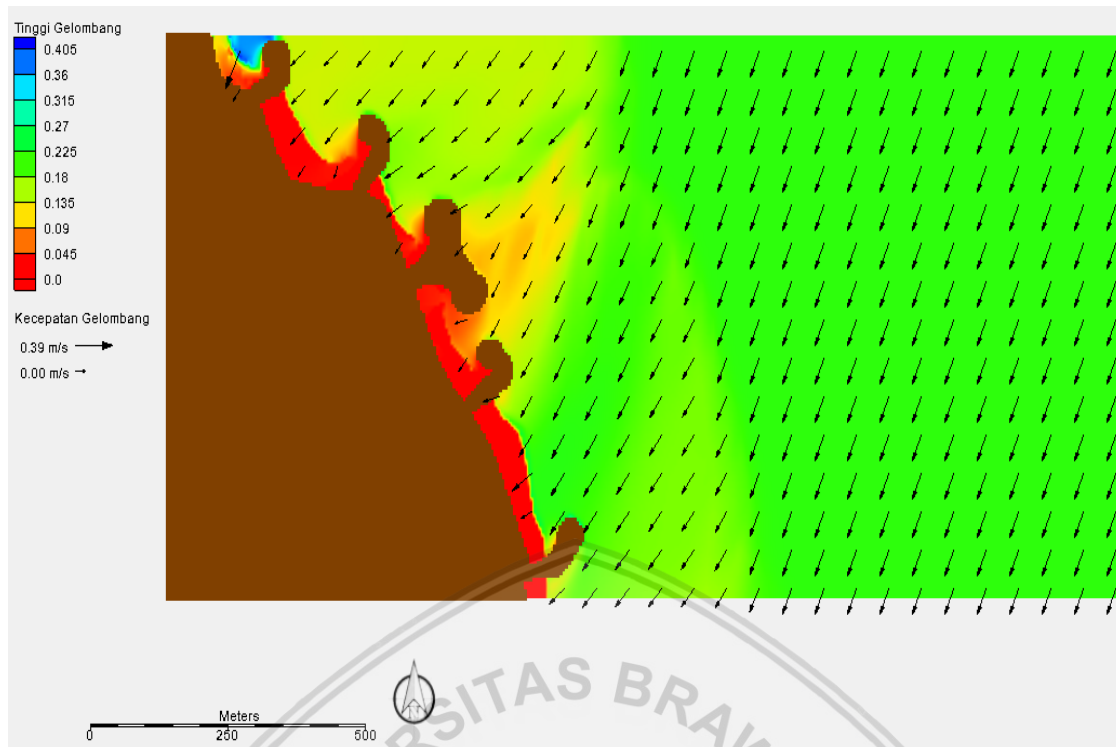
Nilai *angle* didapatkan dari daerah pembentukan gelombang yang memiliki kecepatan dan arah yang konstan, maka dari garis normal pantai yang ditunjukkan dalam *CMS-Wave* sudut datang gelombang untuk arah utara  $90^0$ , arah timur laut  $45^0$ , arah timur  $0^0$ , dan arah tenggara adalah  $-45^0$ .

6. Jalankan simulasi *CMS-Wave* sehingga nantinya akan didapatkan tinggi, periode, dan arah gelombang dalam bentuk grafis. Hasil pemodelan *CMS-Wave* disajikan dalam Gambar 4.36, Gambar 4.37, Gambar 4.38, Gambar 4.39 dan Gambar 4.40.



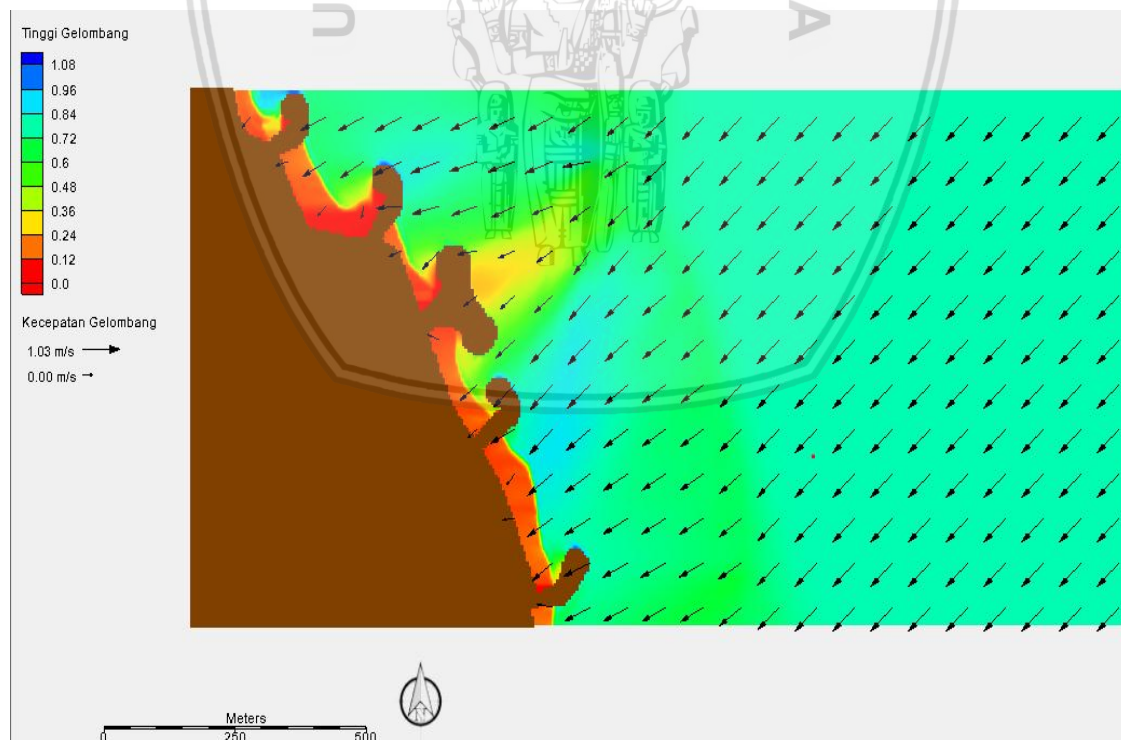
Gambar 4.36 Visualisasi *cartesian grid* untuk data kedalaman pada *CMS-Wave*

Sumber: Hasil simulasi, 2018



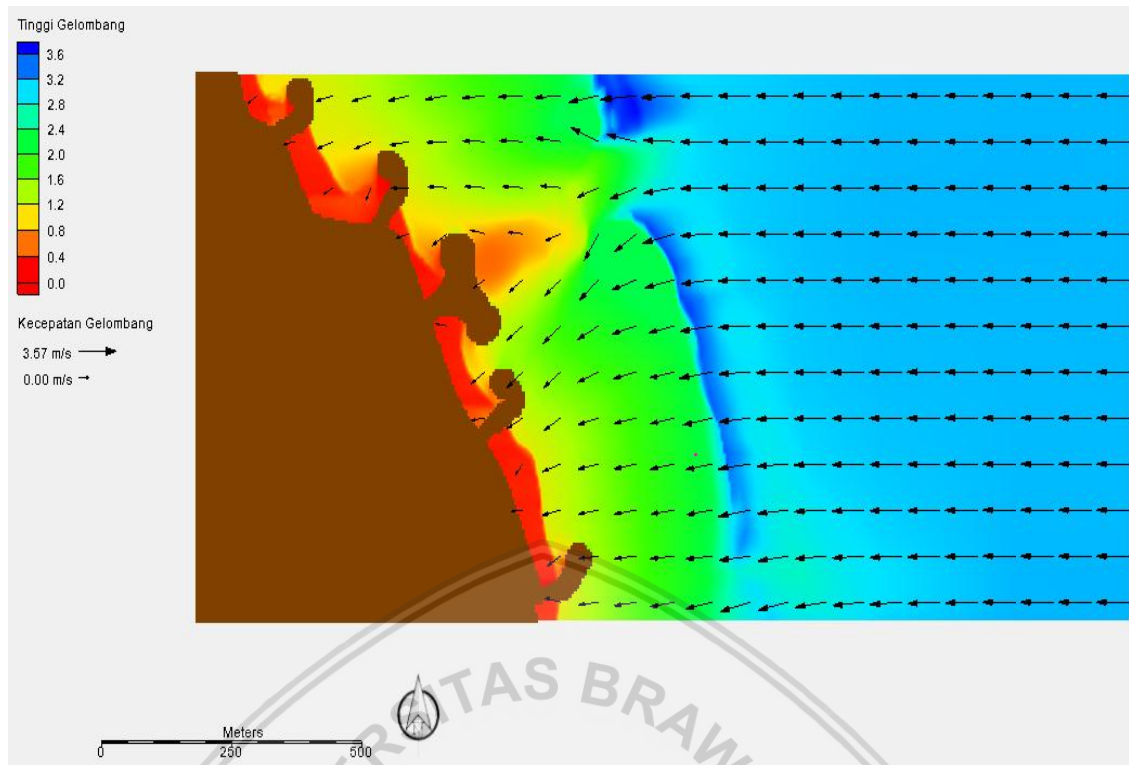
Gambar 4.37 Hasil Running *CMS-Wave* untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Utara pada Segmen Groin UG.1 – G.12

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

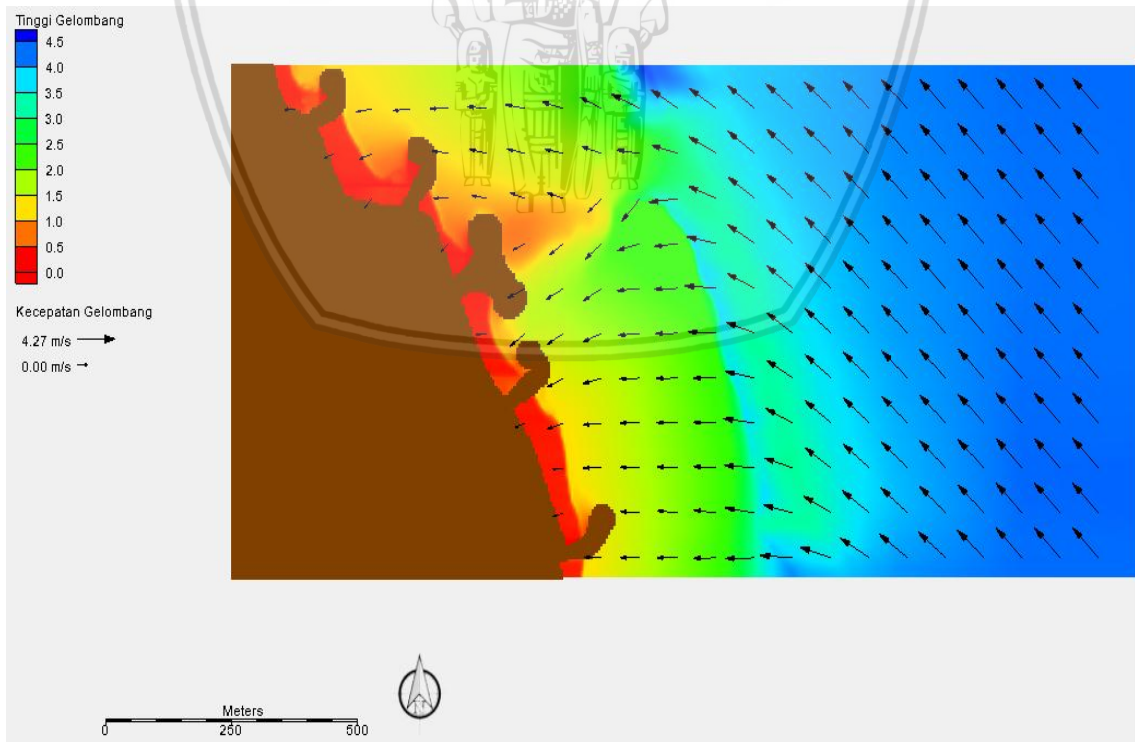


Gambar 4.38 Hasil Running *CMS-Wave* untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Timur Laut pada Segmen Groin UG.1 – G.12

Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.39 Hasil Running *CMS-Wave* untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Timur pada Segmen Groin UG.1 – G.12  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018



Gambar 4.40 Hasil Running *CMS-Wave* untuk Analisis Arah dan Tinggi Gelombang Arah Tenggara pada Segmen Groin UG.1 – G.12  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018

Dari Hasil Running *CMS-Wave* dapat diketahui tinggi gelombang maksimum arah utara adalah 0,405m, tinggi gelombang maksimum arah timur laut adalah 1,08m, tinggi gelombang maksimum arah timur adalah 3,6m, dan tinggi gelombang maksimum arah tenggara adalah 4,5m. Sehingga dapat disimpulkan dari keempat arah mata angin yang disimulasikan, gelombang dari arah tenggara memiliki ketinggian maksimum.

Karena letak segmen groin UG.1-G.12 berada pada wilayah bagian selatan, maka secara tidak langsung gelombang dari arah tenggara akan menuju ke wilayah tersebut. Oleh sebab itu, diantara segmen groin yang lain maka tinggi gelombang pada segmen groin UG.1-G.12 cenderung lebih tinggi. Hal ini mengakibatkan pola perubahan morfologi yang terjadi pada segmen groin ini paling tidak seimbang. Selain dikarenakan arus residual dominan yang terjadi, tinggi gelombang juga memiliki pengaruh besar pada segmen groin ini.

#### **4.7.3 Analisis Arus dan Gelombang pada Lokasi Studi**

Lingkungan pantai merupakan daerah yang selalu mengalami perubahan, karena daerah tersebut merupakan tempat bertemunya kedua energi yaitu berasal dari daratan dan lautan. Perubahan lingkungan pantai dapat terjadi secara lambat hingga sangat cepat. Kondisi ini tergantung pada keseimbangan antara topografi dengan karakteristik air laut yang dipengaruhi gelombang, pasang surut dan angin. Perubahan pantai terjadi apabila proses geomorfologi yang terjadi pada suatu segmen pantai melebihi proses yang pada umumnya terjadi.

Pantai Nusa Dua merupakan kawasan wisata berskala internasional. Akan tetapi fenomena air laut yang terjadi pada wilayah ini mengakibatkan kerusakan lingkungan dan beberapa infrastruktur yang berada di sekitarnya. Desain groin yang ada saat ini juga masih belum cukup untuk mencegah potensi terjadinya erosi. Berdasarkan pengamatan di lokasi studi dan hasil monitoring yang dilakukan dinas dan instansi terkait perubahan garis pantai yang terjadi di Pantai Nusa Dua masih sangat signifikan, bahkan beton penahan abrasi pada wilayah pantai bagian selatan tergerus oleh ombak. Oleh karena itu analisis arus dan gelombang perlu dilakukan dalam penelitian ini.

Pada Sub-bab sebelumnya telah dijelaskan segmen groin UG.1 – G.12 memiliki kondisi yang paling krusial. Sehingga perlu dilakukan analisis yang lebih mendalam pada segmen groin ini. Segmen groin UG.1 – G.12 terletak pada wilayah pantai Nusa Dua bagian selatan. Dengan panjang segmen 211m untuk UG.1 - GN.2 dan 297m untuk GN.2 – G.12. Hasil monitoring di lapangan menunjukkan bahwa terjadi erosi dan sedimentasi



pada tiap segmen groin UG.1 – GN.2 dan GN.2 – G.12. Hasil yang sama juga ditunjukkan pada hasil pemodelan dengan menggunakan *CMS-Flow*. Agar lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.28 dan Tabel 4.29 berikut.

Tabel 4.28 Kondisi Profil Pantai pada Segmen Groin UG.1-GN.2

Line	Kondisi Pengisian Pasir Awal Tahun 2013	Hasil Monitoring 15 Juli 2015	Erosi dan Sedimentasi
7	68.3688	66.6142	-1.7546
8	68.8858	59.7931	-9.0927
9	69.4028	56.5874	-12.8154
10	69.9197	53.9563	-15.9634
11	70.4367	55.0383	-15.3984
12	70.9537	58.6754	-12.2783
13	70.7907	61.6483	-9.1424
14	69.8444	63.866	-5.9784

Sumber: Hasil perhitungan, 2018

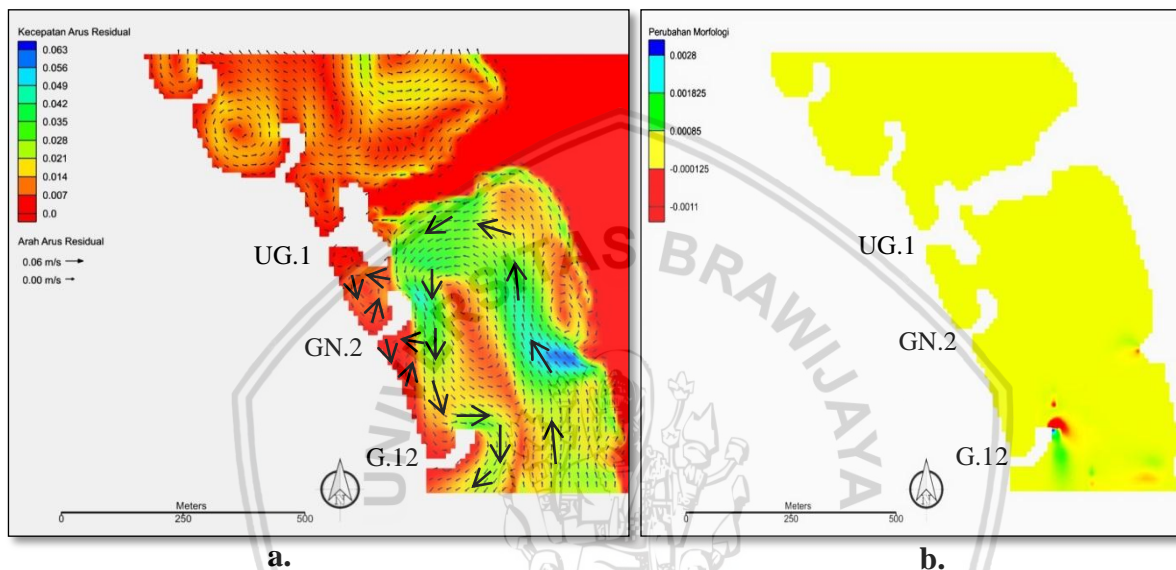
Tabel 4.29 Kondisi Profil Pantai pada Segmen Groin GN.2-G.12

Line	Kondisi Pengisian Pasir Awal Tahun 2013	Hasil Monitoring 15 Juli 2015	Erosi dan Sedimentasi
2	70.2089	43.971	-26.238
3	68.3971	44.534	-23.864
4	66.5853	45.171	-21.415
5	64.7736	46.417	-18.357
6	62.9618	49.289	-13.673
7	61.1501	52.122	-9.028
8	59.3383	55.596	-3.742
9	58.0972	58.097	0.000
10	57.7297	56.874	-0.855
11	57.8968	56.551	-1.346
12	58.0639	55.946	-2.118
13	58.2309	54.019	-4.212
14	58.398	51.986	-6.412
15	58.565	49.457	-9.108
16	58.7321	45.833	-12.899
17	58.8992	43.043	-15.856
18	59.0662	41.653	-17.413
19	59.2333	40.049	-19.185
20	59.4003	37.226	-22.175
21	59.5674	36.661	-22.906
22	59.7344	40.045	-19.690
23	59.9015	46.787	-13.115
24	60.4487	56.474	-3.974
25	62.5496	68.586	6.037

Sumber: Hasil perhitungan, 2018



Dari tabel diatas menunjukkan bahwa kedua segmen groin ini selalu mengalami erosi dalam kurun waktu 3 tahun. Erosi yang paling parah terjadi pada segmen groin GN.2-G.12 line 2 dengan adanya kemunduran garis pantai sepanjang 26 m dan sedimentasi terjadi pada segmen groin yang sama pada line 25 sebesar 6 m. Kondisi yang terjadi akibat adanya arus dominan dengan pola yang tidak seimbang. Untuk lebih jelasnya, maka dapat dilihat pola arus residual yang didapat dari hasil simulasi sebelumnya pada Gambar 4.42 berikut.



Gambar 4.41 Hasil Simulasi dalam Jangka Waktu Menengah dengan menggunakan *CMS-Flow* dan *CMS-Wave* pada Segmen Groin UG.1 - G.12

a. Pola Arus Residual b. Perubahan Morfologi

Sumber: Hasil Simulasi, 2018

Dari gambar diatas dapat diketahui pada segmen groin UG.1 – GN.2 arus berputar berputar menuju ke arah utara. Pada segmen ini sedimen di bagian kanan groin terangkut menuju groin bagian kiri. Sehingga terjadi sedimentasi pada bagian kiri yang mengakibatkan timbunan pasir pada segmen groin bagian kanan habis. Kemudian pada segmen groin GN.2 - G.12 kondisi perubahan garis pantai semakin parah. Hal ini dikarenakan arus dari arah utara yang menuju ke arah selatan terus menggerus wilayah segmen groin GN.2 – G.12. Kondisi ini juga didukung oleh propagasi gelombang yang menuju wilayah pantai yang ditunjukkan dalam hasil running *CMS-Wave* sebelumnya.

Letak wilayah Pantai Nusa Dua yang berada pada wilayah selatan Pulau Bali sebagai salah satu alasan yang paling mendasar mengapa pantai ini memiliki gelombang yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan pantai di Pulau Bali yang lain. Hal ini dikarenakan pada wilayah Bali bagian selatan memiliki daerah pembentukan gelombang yang lebih luas

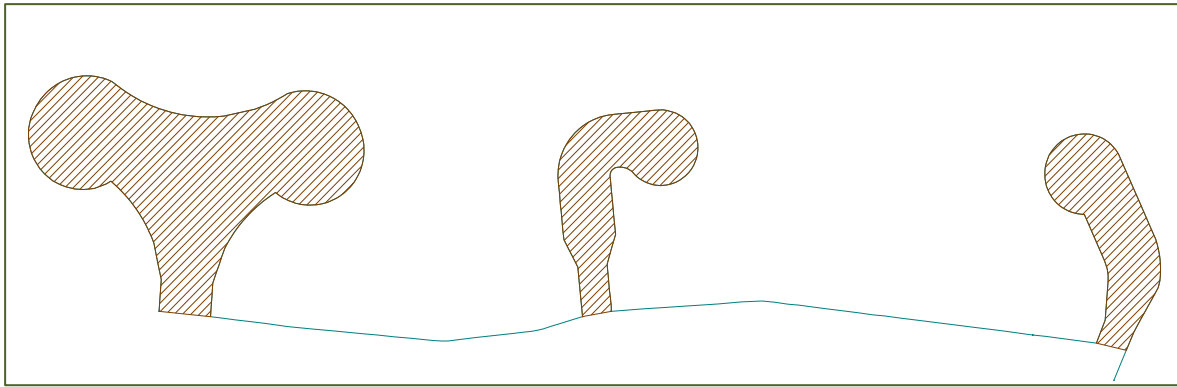
jika dibandingkan dengan yang lainnya. Di sisi lain di kawasan Pulau Bali angin dominan bertiup dari arah timur hingga tenggara, ditambah lagi adanya pusat tekanan rendah di Samudra Hindia yang mengakibatkan gelombang naik secara periodik.

Berdasarkan uraian di atas, maka pada pantai Nusa Dua perlu dilakukan evaluasi pada bentuk struktur groin. Hal ini dikarenakan pola arus pada segmen groin UG.1- G.12 tidak bergerak seimbang. Seperti halnya pada segmen groin UG.1- GN.2, jarak antar groin yang terlalu dekat menyebabkan arus yang menuju segmen tersebut tidak memiliki ruang untuk bergerak sehingga arus hanya dapat berputar dan terus mengikis wilayah pantai. Pada segmen ini pula arus yang datang dialihkan menuju segmen groin GN.2 – G.12 dan menyebabkan sebagian besar wilayah ini tererosi dan volume pasir terus berkurang pada setiap periodenya. Hal ini juga disebabkan karena jarak antar segmen groin GN.2 – G.12 yang terlalu jauh dan struktur groin yang terlalu pendek sehingga tidak dapat menahan sedimen yang terangkut.

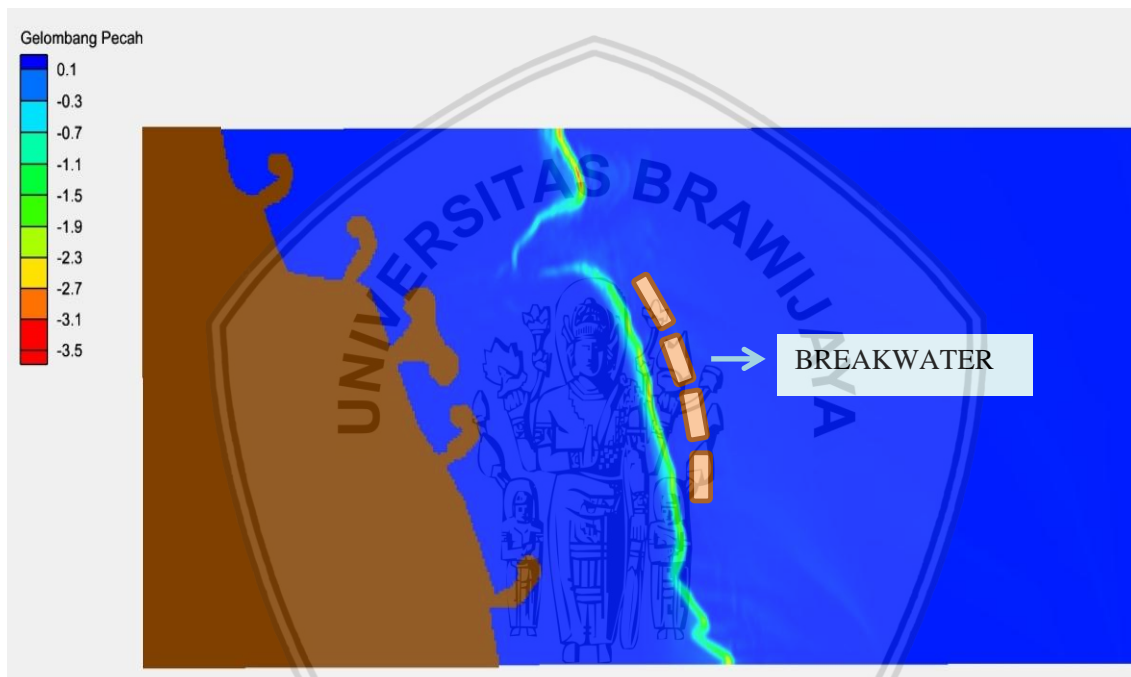
#### **4.7.4 Evaluasi Struktur Groin**

Pantai Nusa Dua merupakan jenis pantai berpasir, sehingga secara tidak langsung pantai Nusa Dua memiliki perlindungan alamiah berupa hamparan pasir yang dapat berfungsi “*sand dunes*” yang merupakan cadangan pasir dan berfungsi sebagai tembok laut. Akan tetapi akibat adanya arus laut yang tidak seimbang maka perlindungan alamiah dalam hal ini sudah tidak berfungsi lagi, maka dibuat bangunan pelindung pantai pada pantai Nusa Dua.

Bangunan pantai yang terdapat pada pantai Nusa Dua, Bali adalah groin. Fungsi pelindung pantai ini direncanakan untuk menahan atau menangkap angkutan pasir “*longshore transport*” atau untuk mengurangi angkutan pasir. Akan tetapi dari hasil simulasi diatas dapat diketahui bahwa fungsi groin sebagai penahan angkutan pasir tidak bekerja secara efektif. Sehingga perlu dilakukan evaluasi pada struktur groin. Pada penelitian ini ditunjukkan beberapa alternatif desain bangunan pelindung pantai baik dengan perubahan struktur groin ataupun dengan *detached breakwater*. Gambar alternatif 1 dan Gambar alternatif 2 disajikan pada Gambar 4.43 dan Gambar 4.44 berikut.



Gambar 4.42 Alternatif 1  
Sumber: Hasil Perhitungan, 2018



Gambar 4.43 Alternatif 2  
Sumber: Hasil Simulasi, 2018

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1. Kesimpulan

Pantai Nusa Dua yang berada pada wilayah selatan Pulau Bali selalu mengalami perubahan morfologi pantai yang signifikan setiap tahunnya. Akibat perubahan morfologi pantai yang terjadi, tiap tahunnya pantai Nusa Dua mengalami angkutan sedimen mencapai  $10.180 \text{ m}^2$ . Maka apabila hal ini terus berlangsung akan berdampak pada menyempitnya wilayah pantai Nusa Dua.

Akibat fenomena di atas, terdapat hal-hal yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Monitoring perubahan garis pantai dilakukan untuk mengevaluasi perubahan garis pantai setelah dilakukan pemasangan groin. Dari hasil monitoring wilayah pantai Nusa Dua cenderung mengalami gerusan pada beberapa segmen groin. Melalui *Bali Beach Conservation Project* kondisi perubahan garis pantai signifikan terjadi pada segmen groin GA.2, GA.8-G.0, G.4-G.5, G9-G.10, UG.1-GN.2, dan GN.2-G.12. Kemudian untuk mengetahui kondisi perubahan morfologi pantai Nusa Dua yang paling signifikan dilakukan analisa kondisi pantai menggunakan 3 metode, yaitu: analisa monitoring perubahan volume pasir, analisa menggunakan program statistika *IBM SPSS Statistics 24*, dan analisa menggunakan pedoman penilaian kerusakan pantai sesuai dengan peraturan dinas pekerjaan umum No. 08/SE/M/2010. Dari analisa hasil monitoring perubahan volume pasir diketahui pada segmen groin GN.2-G.12 volume pasir terus berkurang yaitu sekitar 5,43% tiap periodenya. Kemudian dari analisa menggunakan program statistika *IBM SPSS Statistics 24* dapat diketahui pada segmen groin UG.1-GN.2 garis pantai mengalami kemajuan mencapai 41,20 m dan kemunduran mencapai 22,02 m. Selanjutnya hasil analisa dengan acuan pedoman peraturan dinas pekerjaan umum menunjukkan bahwa segmen groin UG.1-GN.2, dan GN.2-G.12 memiliki prioritas penanganan tingkat A. Hal ini dikarenakan pada segmen tersebut bobot kerusakan pantai  $>300$ , yaitu: 354,375 untuk UG.1-GN.2 dan 321,875 untuk GN.2-G.12.

musim hujan dan musim kemarau. Pada simulasi ini digunakan domain simulasi yang lebih kecil dengan batas wilayah pemodelan antara G.9 hingga G.12. Hal ini bertujuan agar simulasi fokus pada area yang memerlukan penanganan utama. Dengan

mengurangi domain, maka domain wilayah numeriknya akan lebih kecil sehingga efisiensi pada saat proses simulasi dapat dicapai. Ukuran domain simulasi adalah 2119,6m x 889,1m dengan jumlah grid untuk sel tanah sebanyak 3.507 sel dan untuk sel laut sebanyak 15.361 sel. Kondisi ini sama untuk ketiga simulasi. Hasil dari ketiga simulasi tersebut mengindikasikan bahwa pada segmen groin UG.1-G.12 profil pantai cenderung tergerus. Dapat diketahui pada segmen ini arus tidak dapat terarah dengan seimbang sehingga menyebabkan arus berputar pada beberapa wilayah dan menyebabkan erosi pada satu bagian dan sedimentasi pada bagian yang lain. Kondisi ini juga didukung dengan adanya pergerakan gelombang dari arah tenggara yang menuju wilayah pantai. Adanya permasalahan ini disebabkan oleh beberapa faktor. Salah satunya adalah bentuk struktur groin pada segmen ini yang kurang sesuai dengan pola arus yang ada, dan pada akhirnya fungsi groin sebagai pelindung pantai terabaikan. Pada segmen UG.1-GN.2 jarak groin terlalu dekat dan bentuk struktur groin terlalu panjang. Begitu juga yang terjadi pada segmen groin GN.2-G.12, jarak antar groin yang terlalu panjang dan bentuk struktur groin yang terlalu pendek.

2. Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan hasil pemodelan untuk kondisi tanpa angin dan kondisi angin musim kemarau dengan data pasang surut yang sama tidak terjadi perbedaan. Kemudian untuk kondisi angin musim hujan dengan data pasang surut pada bulan hujan (Oktober – Januari) terdapat perbedaan untuk kondisi arus dan perubahan morfologi. Pada kondisi arus maksimum terjadi perbedaan sebesar 0,09m/s sedangkan arus residual sebesar 0,04m/s, dan untuk perubahan morfologi terdapat perbedaan sekitar 0,0002m/s. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pasang surut adalah komponen utama yang mempengaruhi perubahan morfologi di Pantai Nusa Dua, Bali.
3. Hasil pemodelan *CMS-Flow* dalam *interface SMS* versi 11.0 sangat baik dan sesuai, ditandai dengan telah tercapainya target kesalahan relatif yang kurang dari 10%. Pola arus hasil pemodelan *CMS-Flow* juga memiliki kesesuaian dengan hasil monitoring profil pantai di lokasi studi. Sehingga program ini dianggap layak dan mampu untuk diaplikasikan dalam perencanaan bangunan pantai. Karena hasil simulasi dapat divisualisasikan dengan baik. Nilai kesalahan relatif hasil pemodelan *CMS-Flow* yang dilakukan pada 5 titik kalibrasi adalah sebagai berikut:
  - Titik 1 = 9,091%
  - Titik 2 = 6,931%
  - Titik 3 = 6,593%



- Titik 4 = 3,175%
- Titik 5 = 9,581%

## 5.2. Saran

Dari kajian studi yang dilakukan terdapat saran-saran yang diberikan penyusun agar dapat digunakan untuk studi selanjutnya:

1. Keberadaan data asli yang diambil di lapangan akan sangat membantu dalam penentuan parameter pemodelan yang tepat di lokasi studi. Selain itu kajian yang lebih mendalam terhadap perubahan morfologi pantai dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan perubahan garis pantai yang signifikan.
2. Survey diameter butiran perlu dilakukan untuk pantai yang ditinjau. Agar dapat digunakan persamaan angkutan sedimen yang memperhitungkan *properties* butiran. Evaluasi terhadap *series* groin juga perlu dilakukan dengan merubah bentuk struktur groin menjadi beberapa alternatif. Adanya beberapa alternatif struktur groin, diharapkan dapat menghasilkan pola perubahan morfologi pantai yang lebih seimbang.
3. Hasil pemodelan *CMS-Flow* dan *CMS-Wave* menunjukkan bahwa arus dan gelombang dominan datang dari arah tenggara menuju wilayah pantai menyebabkan terjadinya gerusan pada beberapa segmen groin. Sehingga diharapkan dengan adanya evaluasi pada *series* groin bisa menambah efektifitas penangkapan sedimen dan terbentuknya *harmonic structure*. Implikasi dari tindakan tersebut adalah sedimen pada tiap segmen groin diharapkan tidak terangkut lagi sehingga tidak perlu dilakukan pengisian pasir secara berkala.

Halaman ini sengaja dikosongkan



## DAFTAR PUSTAKA

- Beselly, Sebrian Mirdeklis. 2017. Simulasi Numeris Perubahan Morfologi Dasar Laut Pada Desain Pelabuhan di Kabupaten Gresik, Indonesia. Jurnal Teknik Pengairan. Malang: Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2004. Pedoman Umum Pengembangan Reklamasi Pantai dan Bangunan Pengamanannya. Jakarta: Direktorat Bina Teknik Proyek Peningkatan Perencanaan Program dan Rancang Bangun Pembangunan Pengairan.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2008. Coastal Engineering Manual. Washington DC: Department of The Army, U.S. Army Corps of Engineers.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2010. Modul Peningkatan Kemampuan Perencanaan Teknis Pengaman Pantai. Jakarta Selatan : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Rawa dan Pantai.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2010. Pemberlakuan Pedoman Pelaksanaan Konstruksi Bangunan Pengaman Pantai. Jakarta Selatan : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Rawa dan Pantai.
- Purnaditya, N.P., Dharma, I. G. B. S. & Dirgayusa, I. G. N. P. 2012. Prediksi Perubahan Garis Pantai Nusa Dua dengan *One-Line Metode*. Bali : Fakultas Teknik Universitas Udayana.
- Silvester, Richard. 1974. *Coastal Engineering I Generation, Propagation and Influence of Wave*. Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company.
- Sorensen, Robert M. 2006. *Basic Coastal Engineering*. New York: Springer Science+ Business Media, Inc.
- Triatmodjo, Bambang. 2008. Teknik Pantai. Yogyakarta : Beta Offset.
- Yuwono, Nur. 1986. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Yuwono, Nur. 1992. *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Yuwono, Nur. 1982. Teknik Pantai Volume I. Yogyakarta : Biro Penerbit.

Halaman ini sengaja dikosongkan

